

**Problematika větrných a fotovoltaických zdrojů
v distribučních sítích**

Problems of wind and solar sources in the distribution networks

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Bilíček**
Studijní program: **N2649 Elektrotechnika**
Studijní obor: **3907T001 Elektroenergetika**
Téma: **Problematika větrných a fotovoltaických zdrojů v distribučních sítích**
Problems of wind and solar sources in the distribution networks

Zásady pro vypracování:

1. Popis technologického vývoje větrných a fotovoltaických elektráren.
2. Vliv větrných a fotovoltaických elektráren na provoz elektrizační soustavy a kvalitu dodávky elektrické energie.
3. Záláhování větrných a fotovoltaických elektráren s možností akumulace energie.
4. Specifické vlastnosti fotovoltaických zdrojů vzhledem k připojování do distribučních sítí.
5. Analýza kolísání činného a jalového výkonu vytípané fotovoltaické elektrárny

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení.
Kniha MONTANEX 2009
2. Škorpil, Mertlová, Willman, B.: Obnovitelné zdroje a jejich začleňování do energetických systémů.
Plzeň 2008
3. Sborník EPE-2009 - Dlouhé Stráně. Výběr referátů.
4. Sborník EPE-2010 - VUT Brno.
5. Sborník konference PE 2010 Polsko - Wisla


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Zdeněk Hradílek, DrSc.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011




prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

*Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*

V Ostravě Dne:

Podpis:

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby:

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

V Ostravě Dne:

Podpis:

Poděkování

Děkuji Ing. Tomáši Šumberovi za poskytnutou odbornou pomoc při zpracování diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce pojednává o problematice větrných a fotovoltaických zdrojů v distribučních sítích. V prvních bodech práce je nastíněna problematika větrných a fotovoltaických zdrojů v distribučních sítích obecně, jejich technologický vývoj, kvalita dodávky elektrické energie, problematika zálohování a akumulace energie. Poslední dva body jsou více zaměřeny na problematiku nejaktuálnějšího tématu současnosti. Touto problematikou jsou fotovoltaické zdroje a jejich připojování do distribučních sítí. Jelikož se škola podílí na vyhodnocování, analýze a zhodnocení jedné fotovoltaické elektrárny, je závěrečný bod této práce věnován právě této problematice.

Abstract

This thesis deals with problems of wind and solar sources in the distribution networks. The first parts of the work concern general problems of wind and solar sources in the distribution networks, their technological development, the quality of power supply and problems with the backing up and accumulation of energy. The closing two points are focused on the most current questions. These are photovoltaic sources and their connection to the distribution networks. Whereas the college participate in the evaluation and analysis of one photovoltaic power plant, this area is implicated in the final part of the thesis.

Klíčová slova

Větrná energie, Solární energie, Větrná elektrárna, Fotovoltaická elektrárna

Key words

Wind energy, solar energy, Wind Power Plant, Photovoltaic Power Plant

Seznam použitých zkratek a symbolů

OZE – Obnovitelný Zdroj Energie

FVE – Fotovoltaická Elektrárna

VTE – Větrná Elektrárna

HDO – Hromadné Dálkové Ovládání

FV panel – Fotovoltaický panel

SSU – Stejnoseměrné Napětí

SSI – Stejnoseměrný Proud

PPDS – Pravidla Přenosové a Distribuční Soustavy

VN – Vysoké Napětí

NN – Nízké Napětí

SII – Střídavý proud

SIU – Střídavé Napětí

DS – Distribuční Soustava

Si - Křemík

Obsah

1. Úvod	1
1.1. Větrná energie v ČR a zahraničí	1
1.2. Sluneční energie v ČR a zahraničí	2
1.3. Popis technologického vývoje větrných a fotovoltaických elektráren	3
1.3.1. Větrné elektrárny a jejich technologický vývoj	3
1.3.2. Fotovoltaika a její technologický vývoj	11
2. Vliv větrných a fotovoltaických elektráren na provoz ES a kvalitu dodávky elektrické energie	15
2.1. Větrné elektrárny	15
2.1.1. Vlivy větrných elektráren na provoz ES	15
2.1.2. Vliv fotovoltaických elektráren na síť	16
3. Zálohování větrných a fotovoltaických elektráren s možnostmi akumulace energie	18
3.1. Zálohování obecně	18
3.1.1. Primární regulace	18
3.1.2. Sekundární regulace	19
3.1.3. Terciární regulace	20
3.2. Zálohování a možnosti akumulace větrných elektráren	20
3.2.1. Zálohování	20
3.2.2. Akumulace	21
3.3. Zálohování a možnosti akumulace u fotovoltaických elektráren	24
3.3.1. Zálohování	24
3.3.2. Akumulace	24
4. Specifické vlastnosti fotovoltaických zdrojů vzhledem k připojování do distribučních sítí	27
4.1. Specifické vlastnosti fotovoltaických zdrojů	28
4.1.1. Typy fotovoltaických instalací	28
4.2. Obecné schéma zapojení fotovoltaického zdroje	32
4.3. Specifické vlastnosti připojování FV zdrojů do sítě VN (FVE)	33
4.3.1. Výpočty ustálených stavů a zkratových poměrů FVE	33
4.3.1. Možné zpětné vlivy na DS – kolísání napětí a frekvence při připojování k vedení NN a při vypnutí, vyšší harmonické a jejich vliv	34
5. Analýza kolísání činného a jalového výkonu u vytípané fotovoltaické elektrárny	35
5.1. Obecný úvod	35
5.2 Analýza kolísání činného a jalového výkonu v červenci 2010	36
5.3 Analýza kolísání činného a jalového výkonu v srpnu 2010	39
5.4 Analýza kolísání činného a jalového výkonu v září 2010	42
5.5 Analýza kolísání činného a jalového výkonu v říjnu 2010	45
5.6 Analýza kolísání činného a jalového výkonu v listopadu 2010	49
5.7. Porovnání a zhodnocení jednotlivých měsíců	52
6. Závěr	57
Seznam Obrázků	59
Seznam Tabulek	60
Seznam použité literatury	61
Přílohy	63

1. Úvod

Problematika obnovitelných zdrojů energie je v současnosti hodně skloňovaným tématem. Do OZE řadíme biomasu, geotermální energii, energii získanou z přílivu a odlivu, vodní energii, větrnou energii a v neposlední řadě dnes velmi zmiňované téma, a to zejména pro Českou republiku: energie získaná ze Slunce.

Diplomová práce je zaměřena v prvních bodech na problematiku větrných a fotovoltaických zdrojů v distribučních sítích a jejich historie, vývoj, připojování, provoz, zálohování a akumulace. Poslední dva body se zaměřují na specifickou problematiku a to je fotovoltaika a vše kolem ní. Poslední bod je zaměřen na vytipovanou fotovoltaickou elektrárnu, u níž se škola podílí na jejím monitorování, analýze a vyhodnocení co se týká dodávky činného výkonu do rozvodny 22 kV.

V kapitole jedna se tato práce zabývá lehkým úvodem do problematiky a technologickým vývojem větrných a fotovoltaických elektráren od jejich počátků až po současnost. Je zde taky veden náskres, jak vypadá větrná elektrárna, respektive průřez jednou větrnou elektrárnou.

Kapitola dvě pojednává o vlivu větrných a fotovoltaických elektráren na provoz elektrizační soustavy a kvalitu dodávky elektrické energie. Je zde také nastíněna problematika vyšších harmonických v součinnosti s fotovoltaickou elektrárnou.

U kapitoly tři jsou nastíněny možnosti zálohování a současné provedení akumulace u obnovitelných zdrojů jako jsou větrné elektrárny a fotovoltaické elektrárny.

Co se týká kapitoly čtyři, tak zde se řeší problematika specifických vlastností fotovoltaických zdrojů vzhledem k připojování do distribučních sítí.

Poslední, tedy bod pátý se zabývá analýzou kolísání činného a jalového výkonu vytipované fotovoltaické elektrárny.

1.1. Větrná energie v ČR a zahraničí

Získávání energie z větru není v naší republice tak perspektivní. Výstavba větrných elektráren se už vesměs zastavila, jelikož není kde stavět. Problém u tohoto obnovitelného zdroje energie je hlavně závislost na rychlosti větru. Minimální rychlost byla stanovena na 5 m/s, přičemž neoptimálnější rychlost větru, při které VTE dodává nejvíce je 15 m/s. Výstavba samotné větrné elektrárny nebo větrného parku musí splňovat řadu podmínek a předpokladů (chráněná krajinná oblast, hluchost,...), aby mohla být vůbec realizována.

Co se týká zahraničí, tak v Evropě mají největší potenciál větrné elektrárny v Německu, kde bylo k 30. červnu 2006 instalováno 18 054 větrných elektráren s celkovým výkonem 19 299 MW. Na druhém místě je Španělsko a třetí je Dánsko. Co se týká EU, tak ta přijala program rozvoje větrné energetiky v roce 1980. Na základě úspěšných projektů, zejména v Dánsku, Nizozemsku, Německu a Velké Británii, rozhodla Evropská unie v roce 2030 dosáhnout 100 000 MWe instalovaných ve větrných elektrárnách. To je výkon, který má pokrývat 20 % celkové západoevropské spotřeby elektrické energie. [\[1\]](#)

1.2. Sluneční energie v ČR a zahraničí

Stavba solární elektrárny jako takové je podmíněna celou řadou zákonů a nařízení, ale nejdůležitější je výběr lokality, kde je největší intenzita slunečního záření co největší po co nejdelší část roku. Při mnoha měřeních intenzity slunečního záření na území České republiky bylo zjištěno, že minimální svítivost je 950 kW/m^2 a maximální je 1250 kW/m^2 . Jednotka kW/m^2 je jednotkou sluneční konstanty (= solární konstanta). V poslední době nastal pro Českou republiku veliký rozmach ve výstavbě solárních elektráren jako obnovitelného zdroje energie.

Největší fotovoltaickou elektrárnu na světě mají Španělé (60 MW). V Německu je největší solární elektrárnou solární elektrárna v Straasskirchenu s instalovaným výkonem 54MW. V USA by měla vyrůst největší solární elektrárna na světě o výkonu 80MW, ale zatím je ve stádiu výstavby.

1.3. Popis technologického vývoje větrných a fotovoltaických elektráren

1.3.1. Větrné elektrárny a jejich technologický vývoj

Teoreticky dosažitelný výkon

Proudící vzduch předává lopatkám větrné elektrárny část své kinetické energie. Albert Betz v roce 1919 odvodil teoreticky maximální dosažitelnou účinnost větrného stroje na 59% (Betzovo pravidlo). Kinetická energie větru se v turbíně mění na energii otáčivého pohybu a následně v generátoru na energii elektrickou. Teoreticky dosažitelný výkon činí v případě jednotkové plochy

$$P_t = \frac{k_B * \rho * v^3}{2} \quad (1)$$

k_B ... Betzův koeficient 0,59

ρ ... hustota vzduchu [kg/m^3]

v ... rychlost větru [m/s]

Pro reálné turbíny s průměrem rotoru D (tedy délkou lopatky $D/2$) se používá vzorec:

$$P = \frac{c_p * \rho * \pi * v^3 * D^2}{8} \quad (2)$$

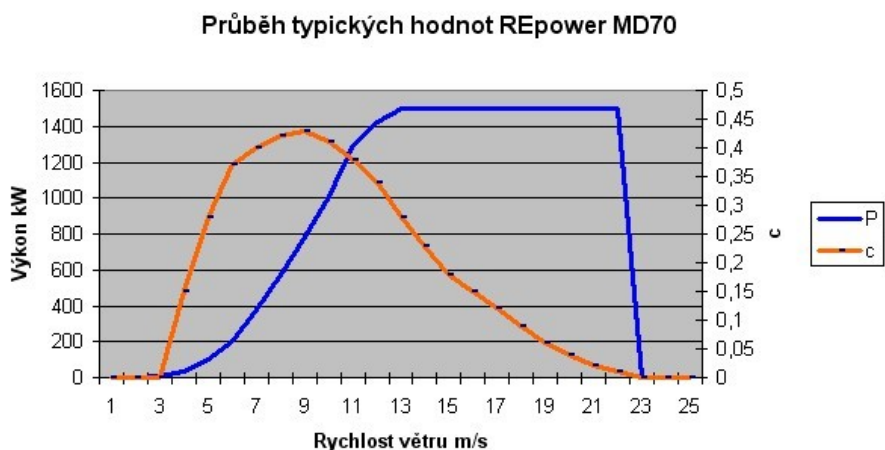
kde c_p je součinitel výkonnosti, v ideálním případě rovný 0,59 [2]

ρ ... hustota vzduchu [kg/m^3]

v ... rychlost větru [m/s]

Účinnost

Součinitel výkonnosti je sám o sobě funkcí rychlosti větru a je dán konstrukčním řešením turbíny, konkrétně převodní křivkou úhlu natočení lopatek turbíny v závislosti na rychlosti větru. To, v kombinaci s kubickou závislostí na rychlosti větru způsobuje pronikavou závislost skutečného výkonu na rychlosti větru.



Obr. 1 - Typický průběh generovaného výkonu a součinitele výkonnosti VTE v závislosti na rychlosti větru [2]

Další podstatnou hodnotou, definující účinnost větrného zdroje je koeficient ročního využití k , definovaný jako poměr skutečně odvedeného výkonu k teoreticky možnému výkonu zdroje za rok. V českých podmínkách se pohybuje v mezích 0,1-0,2, pro velmi větrné lokality dosahuje teoreticky až 0,28. Statisticky podle dat ČSÚ za rok 2007 však dosahoval koeficient ročního využití větrných elektráren v ČR pouze 12,71 % (za rok 2005 to bylo pouze 11 %). Hodnota ovšem značně závisí na zvolené lokalitě - větrná farma Sternwald na rakousko-českých hranicích ve východní části Šumavy dosáhla se 7 větrnými elektrárnami o instalovaném výkonu 14 MW koeficientu ročního využití za rok 2006 21,9 %, za první 4 měsíce roku 2007 se dokonce podařilo dosáhnout hodnoty průměrného využití 32,3 % (přičemž po zbytek téhož roku to bylo necelých 20%) [2]

$$k_r = \frac{W_r}{P_i * 8760} \quad (3)$$

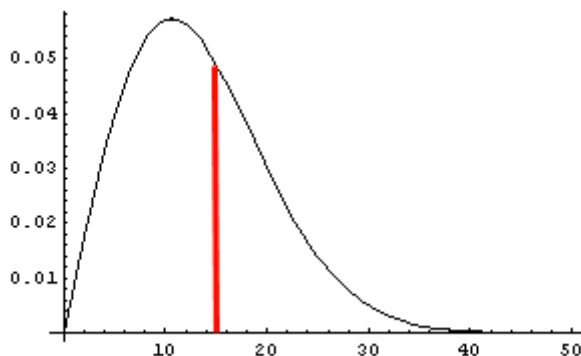
k_r ... koeficient ročního využití instalovaného výkonu [-; %]

W_r ... celoroční výroba elektrické energie [kWh]

P_i ... instalovaný výkon [kW]

Rychlost větru v obecných podmínkách

Spektrum rozložení hustoty rychlostí větru v dané lokalitě je možno popsat Rayleighovým rozdělením jako speciálním případem rozdělení Weibullova.



Obr. 2 - Rozložení hustot rychlosti větru pro střední hodnotu rychlosti 15 m/s [2]

Je to fce , kde je v náhodně proměnná rychlost větru, $\beta = 2$ je tvarový parametr rozložení a η odpovídá střední hodnotě rychlosti větru

$$f(v) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{v}{\eta}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{v}{\eta}\right)^{\beta}} \dots n \approx \frac{\tilde{v}}{0,886} \quad (4)$$

[2]

v ... náhodně proměnná rychlost větru

β ... tvarový parametr rozložení, je roven 2

η ... střední rychlost větru

Maximum hustoty výskytu rychlostí bude vždy ležet vlevo od hustoty výskytu střední rychlosti větru. V reálu má smysl pracovat s pravděpodobností výskytu rozsahu rychlostí větru v intervalu (v_1, v_2) , jenž lze vypočítat:

$$P_{(v_1, v_2)} = \int_{v_1}^{v_2} f(v) dv \quad (5)$$

[2]

P ... pravděpodobnost výskytu rozsahu rychlostí větru v intervalu (v_1, v_2)

Historie využití energie z větru

Díky otáčivému pohybu naší planety a vlivu slunečního záření je zajištěno pravidelné proudění vzduchu nad mořem i pevninou. Technicky využitelný potenciál energie větru se odhaduje na 26 000 TWh za rok.

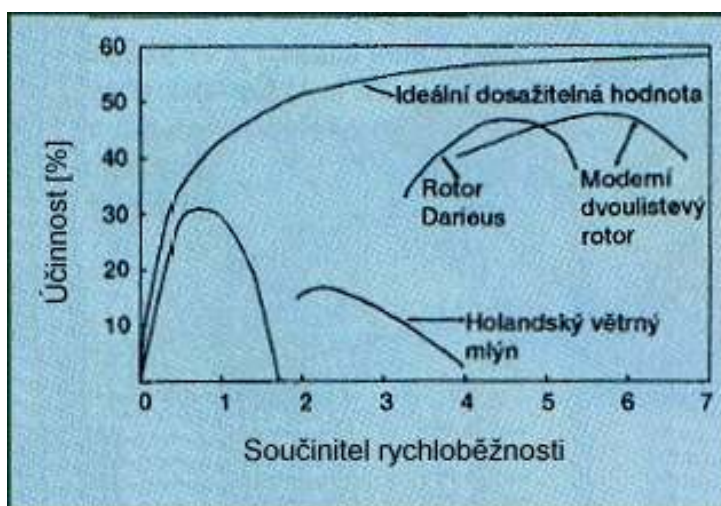
Možnost využití energie větru si lidé uvědomili velmi brzy, vítr byl zřejmě první živel, který se člověku podařilo ovládnout. Lze doložit, že Egypťané používali sílu větru k pohonu lodí již 5000 let př. n. l.

Prvními prakticky využitelnými stroji se však staly větrné mlýny. V Číně a Persii se používaly již v 7. století. V 10. století se prostřednictvím Arabů objevují ve Španělsku a do ostatních evropských zemí postupně pronikaly ve 12. a 13. století. Význam větrné energie vrcholil v 16. století. V 17. století dosáhl jejich počet 60 000. V Čechách, na Moravě a ve Slezsku se větrná energie využívala v 18. a 19. století. Svědčí o tom asi 260 zcela nebo částečně zmapovaných lokalit, kde dříve stávaly větrné mlýny. Pro Holandsko se staly stejně typické jako tulipány. Jenom v oblasti řeky Zaan (severozápadně od Amsterdamu) jich bylo více než 700. Na rozdíl od Anglie a Německa, kde hlavním zdrojem energie bylo uhlí, v Holandsku v té době byly hlavním energetickým zdrojem právě větrné stroje. V roce 1850 mohl být výkon všech větrných mlýnů kolem 1 000 MW. [3]



Obr. 3 - První větrné mlýny [3]

Viz.: Obr. 3 - *První větrné mlýny* - Jak sám název napovídá, tyto stroje se používaly k mletí obilí. Stejný princip se však používal i ke zpracování cukrové třtiny, k čerpání vody atd. Prvním mužem, který se vážně zabýval myšlenkou vyrábět "pomocí vzduchu" elektřinu a který zřejmě také jako první na světě zhotovil větrný motor vyrábějící elektrický proud byl Poul la Cour (1846 - 1908). Bylo to v roce 1891 a vyrobený proud používal pro elektrolyzu ve své škole. Všechny tyto větrné motory pracovaly na odporovém principu: vítr se opírá do lopatky (např. ve tvaru rovinné desky), která mu klade odpor a tím se vyvíjí síla otáčející rotorem. Účinnost takového motoru je velmi nízká a zdaleka nedosahuje ani 20 %. To ve třicátých letech vedlo ke konstrukci větrných motorů pracujících na vztakovém principu, kdy vítr obtéká lopatku, jež má profil podobný letecké vrtuli (křídlu). [3]



Obr. 4 - Ideální dosažitelná účinnost větrného motoru [3]

Viz.: Obr. 4 - *Ideální dosažitelná účinnost větrného motoru* [3] Účinnost větrného motoru této konstrukce může převýšit i 50 %. Aby mohla být energie větru takto využita, musí rychlost lopatek mnohonásobně převyšovat rychlost větru. Přitom platí pravidlo, že čím menší je počet lopatek (křídla), tím vyšší je tzv. koeficient rychloběžnosti (poměr obvodové rychlosti konce křídla k rychlosti větru), tím rychleji se rotor otáčí. Proto mívají tyto větrné stanice pouze jedno, dvě nebo tři křídla. [3]



Obr. 5 - Větrný motor se 2 listy [3]

Takovéto konstrukce se začaly objevovat v době II. světové války a jejich výstavba vrcholila v 50. letech, kdy se objevily v mnoha zemích světa. Další kus historie větrných motorů se odehrával v 80. letech v Kalifornii, kde v průmysku San Gorgonio byla vybudována jedna z prvních větrných “farem” s 3 500 turbinami (pracuje dodnes). Později byly budovány další “farmy”. Jejich výkon je různý, od několika stovek kilowatů u těch malých až po ty velmi velké, jako je např. v průmysku Tehachapi. Tento průmysk patří mezi největrnější místa na zeměkouli a tak elektrárna dává ročně 1,3 TWh. Některé z těch menších se “vešly” i do Evropy (Velká Británie). [3]



Obr. 6 - Větrná elektrárna v Kalifornském průmysku Tehachapi [3]

Aby mohl rotor co nejvíce převzít energii větru, je hlava větrné elektrárny, tzv. gondola, umístěna na stožáru otáčivě. K nařízení osy rotoru směrem k větru elektromotor. Tuto nevýhodu odstraňují konstrukce větrných motorů se svislou osou otáčení. Rozhodující popud pro zařízení tohoto druhu dal už v roce 1930 Francouz Georgie J. Darreius, ale tehdy mu nikdo nepřikládal valný význam. Teprve energetická krize počátku 70. let oprášila i systém Darius. Samozřejmě, že v podobě, jaká odpovídala tehdejšímu stavu techniky. Svislý rotor má zpravidla dva nebo tři listy, v příčném řezu tvarované opět jako letecký profil. K dalším výhodám tohoto systému patří to, že odpadá nákladná konstrukce otočné gondoly a generátor je umístěn na zemi, takže se snadno udržuje. Ke spuštění se musí použít pomocný elektromotor. [3]



Obr. 7 - Darreius DZ 12 při zkouškách u severního moře (90 otáček za minutu, 30 kW) [3]

Ve Spojených Státech je celkový instalovaný výkon těchto elektráren 1 700 MW, v Dánsku 520 MW, v Německu 330 MW. Za posledních 10 let jich bylo vybudováno více než 20 000. A to i přesto, že stupeň využití těchto elektráren je poměrně nízký (výše uvedená účinnost přes 50 % je účinnost vlastního zařízení, když však vezmeme v úvahu, že činnost a výkon elektrárny jsou závislé na existenci a vhodné intenzitě větru, je využití elektrárny 12 – 16 %), což vede k nepříznivému poměru pořizovacích a provozních nákladů na straně jedné a vyrobených kilowat-hodinách na straně druhé. [3]

Naše republika nemá tak výhodné podmínky pro využití větrné energie jako Kalifornie nebo přímořské státy. Přesto každá investice, která umožní výrobu elektrické energie a ušetří tuny oxidu siřičitého, oxidu dusíku, oxidu uhličitého nebo popílku je dobrou investicí.



Obr. 8 - Domácí větrná elektrárna A.V.E. Hranice (průměr křídel 10m, 11 kW) [3]

Za další fázi vývoje VTE lze považovat rozmezí mezi léty 1990 až 1995 V první polovině 90. let se obvyklý instalovaný výkon „větrníků“ pohyboval do hodnoty 1 MW.

To představovalo stroje s maximální výškou osy rotoru do 60 m a průměrem vrtule do 70 m. Používaly se dvě technologie omezování výkonu při vyšších rychlostech, tzv. stall regulated (regulované přetížení) a pitch regulated (stupňovité regulování). [22]

Základním (klasickým) provedením byly stroje se vstupním hřídelem uloženým na masivních ložiscích. Tato hřídel byla spojena s nábojem vrtulových listů a hřídel byla zaústěná do vícestupňové převodovky. Na rychloběžné straně převodovky byl přes pružnou spojku připojen asynchronní generátor obvykle s dvou-otáčkovým vinutím. Revolucí v této oblasti byla koncepce společnosti Enercon, která vyvinula větrnou elektrárnu bez převodovky. Vrtule přímo poháněla rotor synchronního generátoru a výstupní napětí z generátoru vstupovalo do měniče se stejnosměrným mezi-obvodem. Na výstupu měniče byl střídač, který vyráběl střídavé třífázové napětí, jež se pak transformovalo na příslušné napětí vysokonapěťové sítě. Obvyklou součástí tehdejších větrných elektráren byla kiosková trafostanice, která toto napětí transformovala na úroveň vysokého napětí.

STALL REGULATED U tzv. technologie stall regulated se omezování výkonu při vyšších rychlostech větru dosahovalo speciálním aerodynamickým návrhem profilu vrtulového listu.

Při vyšších rychlostech obtékání se vlivem překročení kritického proudění snižovala účinnost, čímž se také omezil výkon. Na koncích listů vrtule byly otočně uchycené špičky vrtule, které při natočení o 90° fungovaly jako tzv. aerobrzdy. Výhodou tohoto řešení bylo jednoduché uchycení listů vrtule, které představovalo i nižší ekonomické náklady. Nevýhodou byl malý vztlak listů při nízkých rychlostech obtékání vrtulového listu. Tento nedostatek se řešil roztočením vrtule v motorickém režimu asynchronního generátoru tak, až bylo obtékání listů vrtule natolik účinné, že vrtule vytvářela vztlak a nebylo nutné ji dále motoricky urychlovat. Uvedený systém regulace byl doplňován asynchronním generátorem s dvou-otáčkovým vinutím. Při nižších rychlostech větru se používaly nižší otáčky, při vyšších rychlostech větru otáčky vyšší.

PITCH REGULATED – U této technologie se omezování výkonu při vyšších rychlostech větru řešilo natáčením listů vrtule pomocí hydraulického systému. Další část technologie – převodovka, asynchronní generátor – byla obdobná jako u předchozího provedení „pitch regulated“. S postupným nárůstem výkonu nad hodnotu 1000 kW se již používalo dvojité napájení asynchronního generátoru pomocí měniče kmitočtu, který umožňoval regulaci otáček v rozmezí cca 30 % jmenovitých otáček. Tento systém regulace otáček se používá dodnes. Technologie pitch regulated byla výrobně dražší. Výhodou však byla skutečnost, že postupným natáčením listů vrtule umožňovala rozběh elektrárny pouze silou větru, což představovalo úsporu elektrické energie při nižších rychlostech proudění.

Natáčení listů vrtule je technologie používaná – v modernější podobě – dodnes.

Typickými představiteli nejsoučasnější technologie jsou větrné elektrárny o výšce osy rotoru 80 nebo 100 m s pitch regulated pomocí elektrických vzájemně nezávislých servopohonů s průměrem vrtule 70 až 90 m a výkonem 2 až 3 MW. Transformátory napětí dnes tvoří organickou součást technologie větrné elektrárny a jsou umístěvané buď přímo ve strojovně, nebo ve spodní části tubusu. Vzhledem k pokroku ve výpočetní technice jsou tyto technologie dokonaleji řízeny a monitorovány, takže umožňují dosáhnout koeficientu pohotovosti až 97 % oproti 85 – 90 % z počátku 90. let.

Současnost

Savoniův větrný motor, je nejčastěji využívaným typem větrných motorů, jenž vyrábí elektrickou energii. Je to typ s horizontální osou rotace. Dále jsou používány typy s vertikální osou rotace a speciální typy. Nejčastějším typem rotoru je pak vrtule (rychloběžný typ), následuje lopatkové kolo (pomaloběžný typ) a speciální rotory. Otáčky rotoru, poháněného větrnou energií, jsou převodovkou přenášeny na vlastní generátor (dnes se už místo převodovky používá elektronický měnič kmitočtu). Nejčastěji používaným typem generátoru v malých elektrárnách je generátor stejnosměrný (v kombinaci s akumulátorem vhodný pro autonomní provoz). Generátory můžeme rozdělit podle konstrukce na synchronní a asynchronní. „SAVONIUS“ - typ motoru se svislou osou otáčení. Je odvozen z principu starých větrných motorů z Persie a Číny, jenž sloužil k pohonu mlýnů. Pracovní plochy lopatek byly zakřiveny, čímž vznikala rozdílná tlak na „návětrné“ a „závětrné“ straně a docházelo tak k pohybu. Princip dnes známe z různých samohybných poutačů. S vodorovnou osou otáčení ho lze využít i jako MVE.

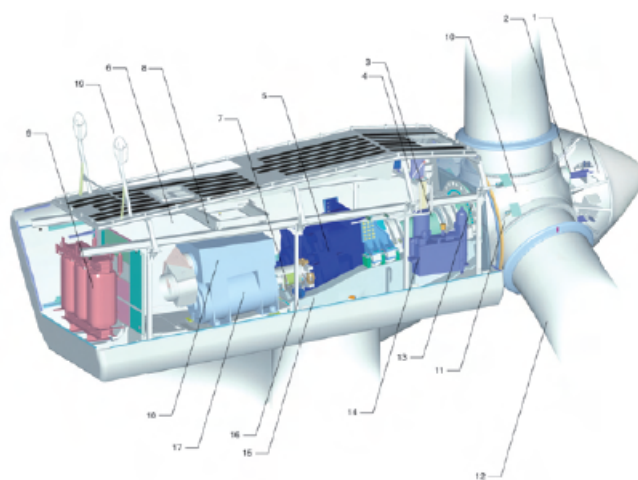
WINDSIDE - Finská firma vyrábí tyto motory pod názvem Windside (dále jen WS)

Je to vertikální větrná turbína, založená na technice plachetnic, s rotorem, který se otáčí jako dvě spirálové tvarované lopatky. První testy v jižním Finsku na zemi i na moři potvrdily zkušenosti získané ve větrném tunelu v laboratoři. Výzkum a vývoj WS trval 19 let a byl zaměřený na určení výkonnostních tříd pro výrobu elektrického proudu. Vývojové práce připustily vývoj WS turbín i pro větší rozměry. Konstrukce turbín jsou rozdílné. Rozdíly vyústily do abecedního označení modelů A, B a C. Označení je úměrné účelu a okolním poměrům jednotlivých modelů. Turbíny A odolávají větru do 60 m/s, B do 40 m/s a C do 30 m/s. Přitom vyrábějí energii po celou dobu přípustného větru. Veškeré turbíny jsou odolné proti bouřkám, mrazu, ledu, horku a vlhkosti

WS-turbíny začínají dodávat proud již při velmi malých rychlostech větru. Větší zařízení musí být uvedeno do otáček pomocí akumulátoru. Startovací rychlost větru pro typ WS-0,15 je 4 m/s, pro WS-0,30 je 3 m/s a pro větší zařízení 2 m/s. Největší typ WS-12 může dosahovat výkonu cca 5 kW, ve speciálním provedení až 25 kW. Vyráběný elektrický proud je kontinuální, bez snižování otáček rotoru, větší modely startují při rychlosti větru dokonce 1 m/s.

Největší lopatky sériové produkce WS-turbín mají průměr 1 m a výšku 4 m. Podle studií Technické univerzity se mohou výsledné rozměry stupňovitě zvětšovat, aniž by se měnila geometrie lopatek. Tyto turbíny mohou být vysoké dokonce až 200 m, s průměrem 70 m, což by již zaručovalo elektrický výkon v řádu megawatt. [4]

Jmenovitý výkon	2000 kW
Jmenovitá rychlost větru	14,0 m.s ⁻¹
Zapojovací rychlost větru	4,0 m.s ⁻¹
Odpojovací rychlost větru	23,0 m.s ⁻¹
Průměr rotoru	90,0 m
Plocha rotoru	6362 m ²
Počet listů rotoru	3
Počet otáček rotoru	8,2–17,3 ot/min
Hmotnost včetně náby	36,3 t
Hmotnost gondoly (bez rotoru)	68,0 t
Generátor	asynchronní, zdvojené napájení
Počet otáček generátoru	1680 ot/min
Napětí	690 V
Regulace výkonu	„pitch“
Regulace otáček	aktivní naklápěním listů vrtule
Hlavní brzdový systém	nastavení listů do prapore
Vedlejší brzdový systém	kotoučové brzdy
Natáčení gondoly	4 elektrické motory
Výšky a hmotnosti kónických ocelových věží	80,0 m – 147 t
	95,0 m – 200 t
	105,0 m – 224 t



Obr. 2 Větrná elektrárna Vestas V-90 – schéma

- | | | |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 řízení listů rotoru | 8 servisní jeřáb | 15 základní rám |
| 2 pitch válec | 9 transformátor | 16 otáčivý věnec |
| 3 hlavní hřídel | 10 rotorová hlava | 17 OptiSpeed generátor |
| 4 chlazení oleje | 11 ložisko listu rotoru | 18 chlazení generátoru |
| 5 převodovka | 12 list rotoru | 19 anemometr |
| 6 VMT Top řízení | 13 aretace | |
| 7 disková brzda | 14 hydraulická jednotka | |

Obr. 9 - Průřez současnou větrnou elektrárnou [5]

1.3.2 Fotovoltaika a její technologický vývoj

Historie fotovoltaiky

Přímá přeměna sluneční energie na elektrickou byla objevena v roce 1839 objevem fotovoltaického jevu francouzským fyzikem Alexandrem Edmondem Becquerelem otcem Henryho Becquerela. První fotovoltaický článek spatřil světlo světa až o 44 let později díky Charlesovi Frittsovi. Frittz vytvořil extrémně tenkou průsvitnou vrstvu zlata na substrátu selenu a tím vlastně vznikl velkoplošný polovodičový přechod schopný přeměnit asi 1% světelné energie přímo v energii elektrickou. Avšak až v roce 1954 byl v Bellových laboratořích zkonstruován vysoce účinný fotovoltaický článek za využití difusního P-N křemíkového přechodu. Byl to vlastně fotovoltaický jev je založený na pohlcení fotonu elektronem v polovodičovém materiálu, při kterém dojde ke generaci páru elektron-díra. Uvnitř homogenního materiálu mají elektrony a díry tendenci samovolně opět rekombinovat, avšak pokud se nachází v heterogenní oblasti, tj. blízko nějakého rozhraní (nejčastěji P-N přechod), elektrony a díry se pohybují do oblastí pro ně energeticky výhodnějších, čímž dojde k jejich separaci. Jejich energii, rovnající se součinu separovaného náboje a elektrického napětí, je pak možné využít ve vnějším elektrickém obvodu.

Dalším fyzikálním jevem umožňujícím přímou přeměnu světelné energie v elektrickou byl objev fotoelektrického jevu v roce 1887 Henrichem Hertzem. Tento jev je podobný fotovoltaickému jevu. Nicméně zakázaný pás v polovodiči nahrazuje výstupní práce z povrchu materiálu a pohlcením fotonů elektrony dochází k fotoemisi. Fotoelektrický jev byl vysvětlen až v roce 1905 díky Albertu Einsteinovi.

Dělení fotovoltaických elektráren

a) Malá fotovoltaická elektrárna

Tyto instalace jsou v řádu jednotek maximálně několika desítek kWp. Realizují se především na stávajících nebo nových RD, ale i v menším množství na volných prostranstvích. Obecně je možno zaručit že 1kWp fotovoltaické elektrárny ročně dodá do sítě min. 950 kWh elektrické energie.

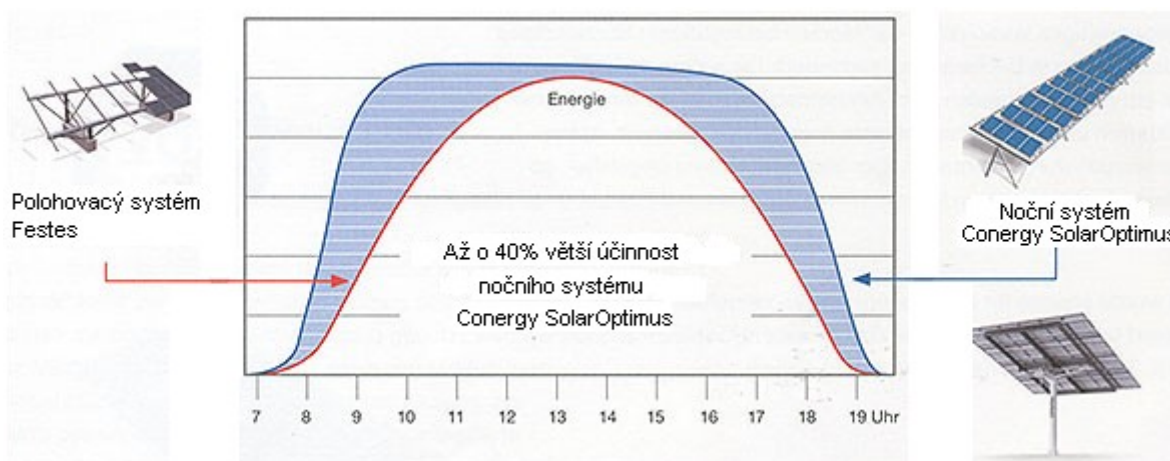
b) Velká fotovoltaická elektrárna

Instalace řádově stovek kWp, v přípravě jsou však už i projekty o výkonu jednotek MWp, realizovány jsou především na volné zemi, na celodenně osluněných, nestíněných plochách nebo plochých střechách skladovacích hal, které jsou nejvhodnější a podobných objektů. Potřebná plocha šikmé střechy na instalaci 1kWp je cca 8-10m², rovné střechy nebo volného prostoru je 16-20 m².

c) Polohovatelná fotovoltaická elektrárna

Nejčastěji realizovány na volných plochách kdy je polohovadlo instalováno na betonový podklad (1,5 x 1,5 x 1,5m) zapuštěný v zemi. V případě instalace více jednotek je nutné dodržet jejich potřebnou vzdálenost a rozestup, aby si nestínily mezi sebou navzájem. Hlavní výhodou polohovaných instalací je maximální využití dostupného solárního záření, díky němuž je výkon instalovaných panelů u dvouosého polohování zhruba o 25-35% vyšší než u pevných instalací (viz níže uvedený graf). K polohování se používá lineární motor a

harmonická převodovka nebo řetězové kolo, které jsou ovládány přes řídicí elektroniku senzorovou hlavou snímající polohu slunce, intenzitu záření, směr a rychlost větru. V případě zatažené oblohy dá řídicí elektronika pokyn motorům ke sklopení funkční plochy do vodorovné polohy, aby fotovoltaické moduly měly možnost zachytit co nejvíce rozptýleného světla. V zimním období je pak plocha přes noc ve vertikální poloze, aby nebyla do rána zasněžená. Orientace a sklon instalovaných panelů je optimální v průběhu každého dne v roce. Polohovací jednotky se montují na nosný sloup, který může být uchycen na železobetonový podklad nebo je zabetonována ocelová konstrukce, která se přes přírubu spojí se sloupem. Možno je také polohovací jednotku instalovat s pomocí závrtné patky. Platí, že čím je intenzita slunečního záření vyšší, tím více se instalace polohovatelných fotovoltaických elektráren vyplatí a návratnost je rychlejší. Proto ve slunných státech Evropy (Španělsko, Řecko) je 95% instalací realizovaných pomocí polohovacích jednotek. [6]



Obr. 10 - Graf účinnosti polohovací elektrárny a obrázek polohovacího panelu [6]

Typy fotovoltaických článků a jejich nejdůležitější charakteristiky

a) Monokrystalické články

Vyrobeny pomocí válcového monokrystalu Czchoralského metodou (polský chemik, jenž v roce 1918 publikoval novou metodu výroby mono krystalického křemíku). Monokrystal rozřezán na tenké destičky a další vrstvy. Využívány v laboratorních člancích účinnost je kolem 25% a pro komerční využití účinnost 22%. Kompletní panely mají účinnost kolem 20%. Tento typ se podílí na celkově vyrobené produkci 34%.

b) Polykrystalické články

Vyrobeny rozřezáním polykrystalického kvádrového ingotu. Menší ztráty. Nejlepší účinnost u komerčních článků je 17% a podílí se na trhu 47% ze všech vyrobených článků.

c) Amorfni články

Polymerní, organické, uměle vytvořené nanomateriály využívající nanotubic, kvantových teček

d) *Tlustovrstvé*

Substrátem je polovodič vyrobený z monokrystalického nebo polykrystalického ingotu, na němž se vytvářejí další vrstvy. Má lepší parametry a tvoří 82% všech vyráběných článků.

e) *Tenkovrstvé*

Polovodičové vrstvy jsou nanášeny na nepolovodičový substrát, horší účinnost a méně stabilní parametry, tvoří asi 17% všech vyráběných článků.

f) *Křemíkové - a nejrozšířenější technologie.*

g) *Na bázi jiných materiálů než křemíku*

Například GaAs, InP, CuInSe, nejrozšířenější komerční jsou CdTe.

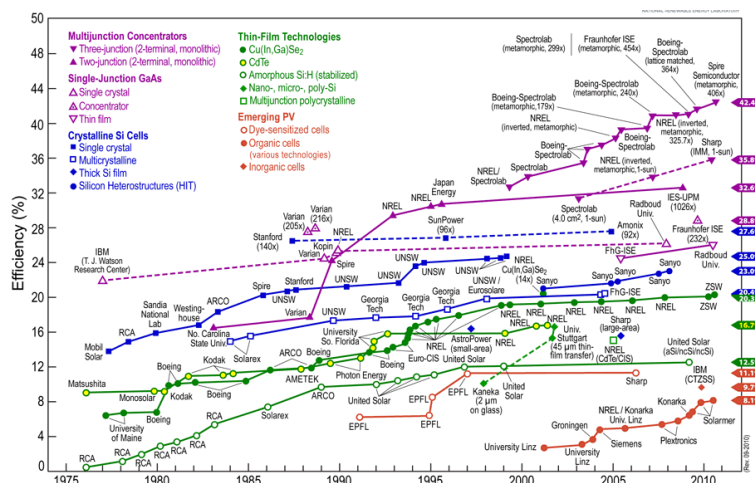
h) *Jednopřechodové*

Mají nejmenší účinnost, protože mohou být zachyceny jen fotony s energií větší nebo srovnatelnou s šířkou zakázaného pásu.

ch) *Více přechodové – Větší účinnost*

Tab. 1 - Srovnání některých typů článků podle účinnosti [7]

Typ článku	Účinnost
Třípřechodový solární článek, Spire Semiconductor společně s US National Renewable Energy Laboratory (NREL), říjen 2010	42,30%
Typ HIT (hetero-junction with intrinsic thin-layer - heteropřechod s intrinsickou tenkou vrstvou); nejlepší laboratorně dosažená účinnost, září 2010	21,10%
Krystalický křemík; nejlepší dosažená účinnost u komerčně vyráběného solárního článku, září 2010	19,40%
Polymerní tištěné solární články z University of Chicago, jeden přechod, výroba levná a energeticky nenáročná	10%
Organické fotovoltaické články (OPV); rekordní dosažená hodnota Dresden University, říjen 2010	8,30%
Polymerní plastová dvojfolie, University of Michigan (další informace)	3,50%
Solární článek vyrobený tištěním aktivní vrstvy na papír, extrémně levná výroba, vyvíjí MIT	1,50%



Obr. 11 - Náhled: Graf časového vývoje účinnosti jednotlivých technologií solárních článků [7]

Viz.: Obr. 11 - Náhled: Graf časového vývoje účinnosti jednotlivých technologií solárních článků [7] - (větší obrázek viz Obr. 64 - Graf časového vývoje účinnosti jednotlivých technologií solárních článků v posledních letech [7]) Fialové linie jsou dvou a třípřechodové články s koncentrátory (plné trojúhelníky) a jednopřechodové články na bázi GaAs (prázdné trojúhelníky), modré linie jsou články na bázi křemíku, zelené linie odpovídající tenkovrstvým technologiím a oranžové linie znázorňují účinnost organických článků (plné kolečko) a na bázi barviv (prázdné kolečko). [7]

2. Vliv větrných a fotovoltaických elektráren na provoz ES a kvalitu dodávky elektrické energie

2.1. Větrné elektrárny

Větrné elektrárny a parky patří do skupiny decentralizovaných zdrojů. Decentralizovaným zdrojem se myslí zdroj, jenž není zahrnut do plánovaného nasazení velkých elektráren. Tento typ zdroje je většinou zapojen do distribuční sítě a výkon se pohybuje v rozmezí od 100kW do 150MW. Díky různým instalovaným výkonům jsou zde patrné technické vlivy na strukturu systému. Je nutno počítat, že při větším rozšíření tohoto zdroje energie budou křivky ročního a denního diagramu zatížení jiné. Je proto jasné, že větrné elektrárny mají vliv na kvalitu dodávek elektrické energie.

Výhodou větrné energie je, že při výrobě energie nevznikají žádné škodlivé emise. V případě využití větrných elektráren jako zdroje pro místní spotřebu je možno se vyhnout přenosovým ztrátám a poplatkům za přenos elektrické energie. Jelikož ČR není přímořským státem, tak je zde problémem intenzita větru a výběr té nejlepší lokality pro stavbu větrných elektráren. Minimální hranice průměrné roční rychlosti větru je 5 m/s a výše viz.: *Obr. 65 - Větrná mapa ČR [8]* je větrná mapa ČR, která vymezuje nejvhodnější lokality pro stavbu větrných elektráren. Co se týče maximální hranice, ve kterém lze ještě větrné elektrárny provozovat, tak ta je stanovena kolem hodnoty 25 m/s. Při větších rychlostech se větrné elektrárny už odstavují. U nás je nejvýhodnější rychlost kolem 12m/s, kdy se vyrobí nejvíce energie. Tím pádem, jak to už naznačuje, problémem je relativní četnost výskytu rychlosti větru viz.: *Obr. 66 - Mapa průměrné rychlosti větru ve 100m nad mořem v ČR [9]*. Výše zmíněná relativní četnost větru má vliv na proměnnou dodávku elektrického výkonu větrných elektráren. Z toho plyne že, relativní výskyt četnosti rychlosti větru má negativní vliv na elektrickou síť z pohledu spolehlivosti dodávky elektrické energie.

2.1.1 Vlivy větrných elektráren na provoz ES

Faktem je, že výkon větrných elektráren je velmi závislý na síle a rychlosti větru. Je tudíž nemožné zajistit konstantní dodávku elektrické energie do místa vyvedení.

Vlivy větrných elektráren a farem na elektrickou síť:

- Přetěžování sítí: nutnost dostatečného na dimenzování přípojného místa pro vyvedení výkonu
- Kolísání napětí: ovlivněno hlavně kompenzačními stroji nebo celé farmy
- Zvyšování zkratových poměrů – připojíme-li větrnou elektrárnu do místa připojení, tak se změní zkratové poměry v síti
- Kvalita dodávky – díky regulaci založené na výkonové elektronice jsou větrné elektrárny a parky velmi často rušivými zdroji v elektrické síti (flicker efekt, výskyt vyšších harmonických, útlum signálu HDO, ...)
- Díky nestabilnímu dodávce závislé na povětrnostních podmínkách u větrných elektráren a parků je nutno, při začleňování tohoto zdroje do pokrývání diagramu zatížení, zajistit dostatečné množství regulačního výkonu pro pokrytí odchylek jenž jsou způsobeny právě větrnými elektrárnami a parky

Výše uvedené vlivy jsou nejdůležitější a nelze je zcela eliminovat. Je možno je omezovat na přijatelnou míru nějakou technologií.

Flicker efekt:

Je to kolísání napětí způsobující změny světelného toku u zdrojů světla a velmi nepříjemné pro lidské oko a ovlivňuje to psychiku lidí. Právě větrné elektrárny a větrné parky jsou jedním ze zdrojů kolísání napětí. Provádí se tzv. posouzení, nejsou-li překročeny povolené hodnoty. Většinou se to provádí výpočtem ve speciálních programech. Hodnota, kterou flicker efekt nesmí přesáhnout v místě připojení byla stanovena na 0,46.

Útlum signálu HDO

HDO signál neboli signál hromadného dálkového ovládání je řídicí signál přenášený v distribučních sítích. Pomocí něj se ovládá zapínání a odpojování elektrických spotřebičů a jiných zařízení. Ovládá se jím i přepínání tarifů. Pro správnou funkci zařízení využívajících HDO signál nesmí úroveň signálu klesnout víc jak 10-20% pod požadovanou hodnotu. Klesne-li signál pod výše uvedenou mez je nutno provést opatření za použití podpůrné impedance, která upraví impedanční poměry ve vybraných částech sítě.

Vyšší harmonické proudy

Vznik zejména u zařízení, kde jsou střídače či měniče kmitočtu. Tyto proudy jsou udávány většinou výrobcem. V dnešní době výrobci udávají celkovou hodnotu činitele zkreslení vyššími harmonickými. Tato hodnota nepřekračuje 5%. Těchto 5% je dostačujících nebo by mělo být dostačující, aby nedocházelo k ovlivnění dalších zařízení jenž jsou připojeny do distribuční sítě.

2.1.2 Vliv fotovoltaických elektráren na síť

Problematika připojování těchto elektráren je v dnešní době hodně aktuálním tématem. Jde tu o to, že jich v poslední době bylo hodně vystavěno a uvedeno do provozu. Jelikož je fotovoltaická elektrárna měkkým zdrojem (zdroj s velmi velkým vnitřním odporem), tak je připojování právě těchto elektráren do distribuční sítě problematické. Zejména největším problémem fotovoltaických elektráren je počasí, tzn. oblačno, zataženo, v zimě sníh pokrývající samotné panely, atd.

Rozdělení elektráren podle velikosti a typu umístění

Dle typu instalace je rozdělujeme na:

- Malé střešní instalace: s výkonem zpravidla do pár kWp, umístění je na střechách budov, zejména výhodné je pak umístění na rodinných domech.
- Velké střešní instalace: od výkonů nepřesahujících 10kWp až po obrovské - řádově MWp.

Tento typ je instalován zejména na velkých průmyslových objektech, halách či logistických centrech.

- Volně stojící instalace: od stovek kWp až po MWp., instalace provedené většinou na volných prostranstvích, s podpůrnou konstrukcí, která je pevně spojena se zemí.



Obr. 12 - Malá střešní instalace, Příšov - Plzeň-sever, FVE o výkonu 6,4 kWp, 230W výkon jednoho panelu, celkem 28ks [\[10\]](#)



Obr. 13 - Velká střešní instalace, FVE s výkonem 76 kWp, Rankov u Chotěboře, 384ks panelů, 6 střídačů, 1 panel s výkonem 197 Wp [\[11\]](#)

3. Zálohování větrných a fotovoltaických elektráren s možnostmi akumulace energie

3.1. Zálohování obecně

Pro zálohování VTE a FVE je nutno si vysvětlit a objasnit primární, sekundární a terciární regulaci

3.1.1. Primární regulace

Primární regulace neboli regulace frekvence. V propojené ES je regulace kmitočtu založena na principu solidarity. Princip solidarity znamená, že při narušení rovnováhy mezi výrobou a spotřebou se na návratu do rovnovážného stavu podílejí všechny zdroje, které jsou do systému primární regulace zapojeny. Samotná regulace kmitočtu je automatická funkce, která na jednotlivých elektrárenských blocích zajišťuje rychlou změnu výkonu podle odchylky frekvence od požadované hodnoty, každá soustava je povinná udržovat stanovenou souhrnnou výkonovou zálohu na primární regulaci frekvence a příslušnou sumární statiku. Zjednodušeně viz rce 5

$$s_V(t) = s_S(t) + s_Z(t) + s_A(t) \quad (6)$$

Výroba = spotřeba + ztráty + akumulace

Co se týká zdánlivého výkonu, tak ten je součtem činné a jalové složky. Činný výkon se transformuje v elektrických spotřebičích do jiné energetické formy (kinetická, tepelná). Jalová složka je použita pro umožnění transformace (vytvoření magnetického pole) a není transformována, ale putuje od zdroje ke spotřebičům a zpět. Pro udržení této výkonové rovnice se musí v ES provádět regulace.

Jak je vidět z rovnice lze provádět regulaci:

- na straně výroby (regulací výkonu výroby)
- na straně spotřeby (regulací změny zatížení)

Čím může být vlastně odchylka frekvence způsobena?

- na straně zásobovacího systému ES
v ES se vyskytne porucha v plánované výrobě elektřiny, výkonová hodnota byla předem dohodnuta mezi výrobcí a odběrateli.

Porucha: stav zařízení, při němž došlo ke ztrátě jedné nebo více jeho základních funkcí, a to způsobem, který vyžaduje opravu.

Poruchy v ES se dělí:

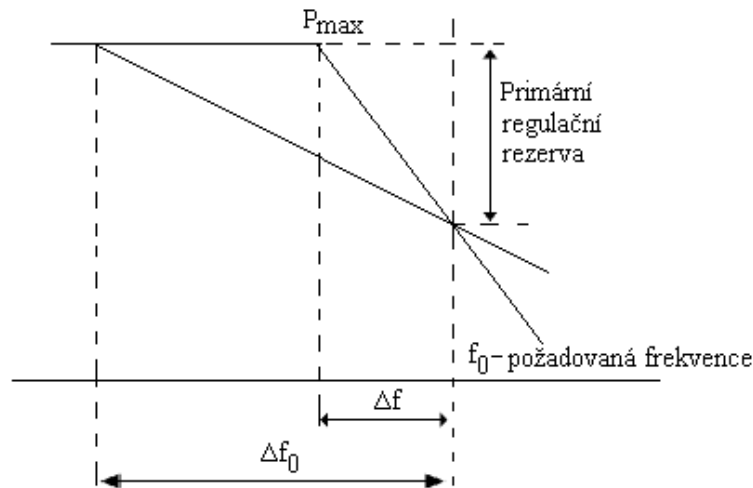
- poruchy na výrobním zařízení (elektrárny): vedou k narušení výkonové bilance a následnému působení regulačních procesů na elektrárnách vedoucích k jejímu vyrovnaní
- poruchy na zařízení sítí (rozvodu) - vedou ke změně zapojení soustavy

Z pohledu poruch je soustava standardně navrhována dle kritéria *n-1*. Tzn., že jakýkoliv výpadek jednoho z N prvků ES nesmí narušit její jmenovitý provoz.

Zvláštním případem je tzv. systémová porucha, která je vždy doprovázena omezením spotřeby a výroby a zpravidla vede k rozdělení soustavy na ostrovy s následným působením frekvenčního odlehčování. Porucha může nebo nemusí být doprovázena omezením výroby nebo spotřeby.

Pokud je porucha doprovázena omezením výroby nebo spotřeby, mluvíme o výpadku.

- na straně spotřeby:
 - pomalé změny zátěže 0,5 – 3,5 % max. diagramu zatížení soustavy za 1 minutu
 - náhodné změny – zapínací a vypínací procesy zatížení v ES 0,005 – 0,3 Hz, za 1-15 sekund
 - skokové zatížení (pece, bagry) 0,03 Hz [13]
 -



Obr. 14 - Primární regulace a primární regulační rezerva

3.1.2. Sekundární regulace

Po vyregulování primární regulací zůstávají v propojené síti kvazistacionární odchylky kmitočtu Δf a předávaného výkonu ΔP_i . Regulace probíhá pomocí sekundárního regulátoru frekvence a předávaných výkonů

- úkolem je navrátit kmitočet na nominální hodnotu a předávané výkony na dohodnuté hodnoty

Sekundární regulace má dvě funkce:

- 1) při nepatrných odchylkách kmitočtu ($\Delta f \rightarrow 0$) zaručuje udržování dohodnutého předávaného výkonu
- 2) při velkých odchylkách kmitočtu (výpadek bloku elektrárny) zaručuje sekundární regulace, aby rozdělení podle primární regulace různých regulačních oblastí bylo udržováno až do doby než regulační oblast postižená výpadkem bude obnovena

- nerovnováha mezi výrobou a spotřebou vyvolá odchylku kmitočtu - ovlivňuje primární regulační výkon

3.1.3. Terciární regulace

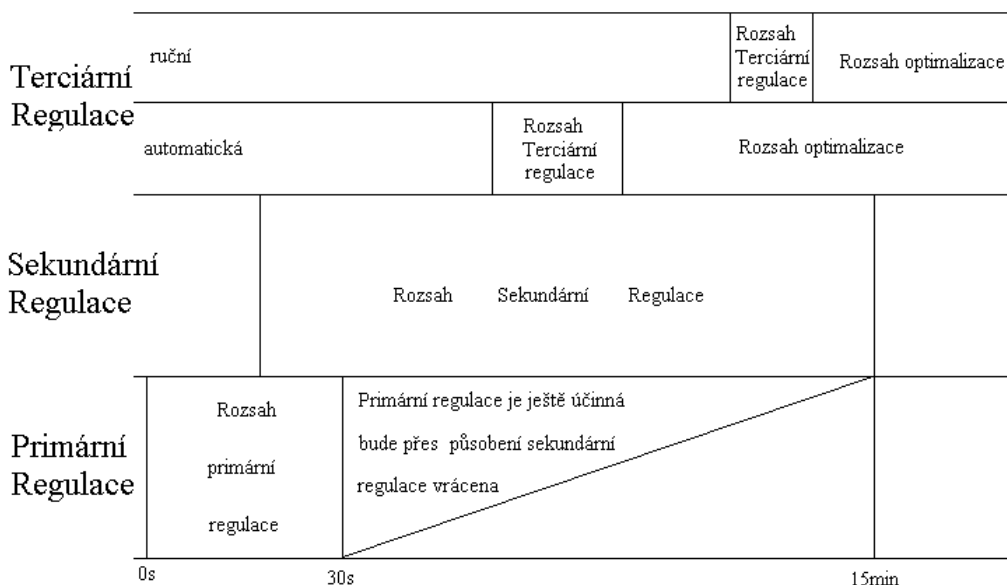
- je každé automatické nebo ruční posunutí pracovního bodu, opakování sekundárního regulačního výkonu zúčastněných strojů s cíly:

- garantovat dostatečnou přípravu sekundární regulační rezervy jak podle velikosti, tak v čas
- provést rozdělení sekundárního regulačního výkonu na jednotlivé stroje optimálně

Posunutí pracovního bodu mohou nastat z důvodu:

- připojení, odpojení výkonu
- přerozdělení výkonu zúčastněných strojů v sekundární regulaci (plynové turbíny, FVE, akumulační a přečerpávací vodní elektrárny)
- změny energie mezi propojenými podniky
- řízení zatížení (HDO)

Pozn.: problematika Primární, sekundární a terciární regulace je poněkud rozsáhlejší, ale pro účely této práce je zmíněný nástin dostatečný. Jen pro porovnání působení regulací viz:



Obr. 15 - Časové oblasti působení jednotlivých regulací

3.2. Zálohování a možnosti akumulace větrných elektráren

3.2.1. Zálohování

Hlavním problémem větrných elektráren je jejich bezpodmínečná závislost na počasí a zejména na jeho nepředvídatelných změnách. S rostoucím podílem musí být pohotově k dispozici regulační výkon v uhelných elektrárnách, který vyrovnává úplný výpadek i neustálé výkyvy. Energetické dispečinky trvale čelí situacím, kdy ze dne na den či ještě hůře z hodiny na hodinu musí reagovat na připojení či náhlé výpadky v závislosti na počasí. Vedle každé instalované kilowatthodiny ve větrné elektrárně je kvůli jejich nejistému provozu nutné mít k dispozici přibližně stejně výkonnou zálohu. Záložní energie je potřeba na vyrovnání nepředvídaných výkyvů ve spotřebě a výrobě elektřiny (například výpadky elektráren). Záložní energie je potřebná vždy a nesouvisí přímo s větrnými elektrárnami.

Větrná energetika nezpůsobuje žádnou zvýšenou potřebu záložní energie při primární ani sekundární regulaci. Jediné, co zbývá, je minutová až hodinová záloha, která je závislá na přesnosti předpovědi vyrobené elektřiny z větru. Ani do budoucna nebude potřeba kvůli větrné energetice zvyšovat záložní kapacity, naopak, bude-li mít větrná energetika na elektrárenském sektoru znatelnější podíl, bude moci v budoucnu sama záložní kapacity nabízet, a to cíleným snižováním výkonu větrných parků, tak jak je tomu u tepelných elektráren, a poskytováním elektřiny záložní. Dle mezinárodních pravidel provozování elektroenergetické sítě má každý stát za povinnost udržovat v operativní záloze kapacitu odpovídající největšímu zdroj v jeho soustavě. Proto u nás musíme mít navíc 1000 MW uhelných elektráren – takový je totiž výkon jednoho reaktoru v Temelíně. Tato záloha kryje zároveň i větrná a ostatní elektrárny. Záložními zdroji jsou elektrárny tepelné, tedy uhelné a plynové (nafta by se nevyplatila a biomasa není moc vhodná). [\[14\]](#)

3.2.2. Akumulace

Evropa už nějakou dobu využívá obnovitelných zdrojů energií. Tyto zdroje jsou problémem pro elektrickou síť, zejména větrné elektrárny, které jsou konstruovány na odlehlých místech. Tyto elektrárny představují značnou sílu a v případě větrných farem to může být výkon od 10 - 100 MW a více. Ve vzdálených místech, kde je většina větrných elektráren situována, je nutno budovat stále nová potrubí pro přenášení energie s dostatečnou kapacitou. Náhlé změny zatížení (závisí na aktuálním zatížení větrem - tedy na rychlosti větru) v distribuční síti mohou způsobit nestabilitu sítě, přetížení následně změnu kmitočtu, napětí atd. .

V České republice, začala expanze obnovitelných zdrojů v roce 2002 a to zejména po schválení zákona o obnovitelných zdrojích energií, který zaručuje povinnost vykoupení elektřiny a návratnost investic do 15 let. Dále se Česká republika zavázala množstvím elektráren a tím, že do roku 2020 vyprodukuje 20% celkové spotřeby energie z těchto zdrojů. Pro představu je to 7 TWh energie ročního výnosu.

Pro řešení tohoto problému větrných elektráren je nutno nějak tuto energii jimi vyrobenou akumulovat a tím zajistit plynulost zásobování energie do sítě. Dále je nutné uvažovat o jistém akumulačním systému, s možností přidružení buď k jednotlivým větrným elektrárnám, větrnému parku o větším počtu instalovaných větrných elektráren, či centralizovanému akumulačnímu systému pro větší oblast s větrnými parky nebo celou elektrizační soustavu jednoho státu.

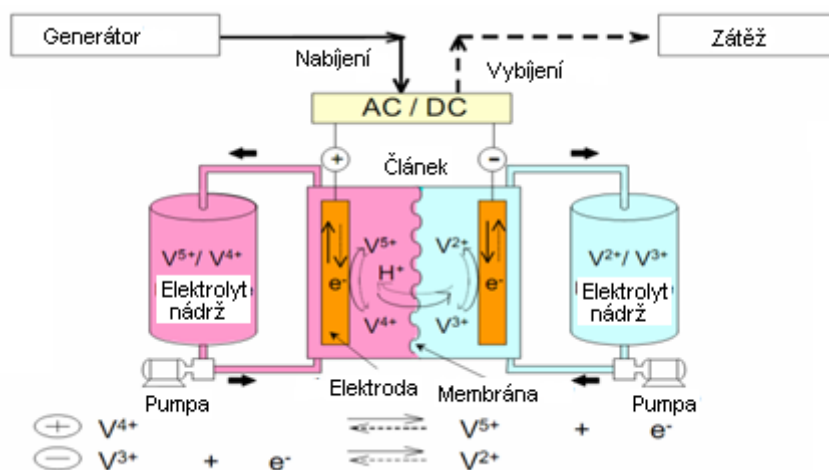
Samostatný akumulační systém musí mít dostatečný okamžitý výkon v řádu desítek procent instalovaného výkonu větrných elektráren. Stěžejním požadavkem akumulačního systému je požadavek na rychlost rozběhu - reakce na změnu. Znamená to, že většina akumulačních systémů je doplněna o jiné méně energeticky náročné systémy s velmi krátkou dobou náběhu. Tyto systémy většinou pokrývají regulační systémy větrné elektrárny. Výše zmíněné problémy se týkají především decentralizovaných akumulačních systémů. U centralizovaných akumulačních systémů se výše zmíněné problémy, které jsou uvedené u decentralizovaných nevyskytují. Je to z důvodu, že vzájemná poloha jednotlivých větrných elektráren nebo farem je různá. Díky tomu jsou tak změny v jejich výrobě neboli různé provozní podmínky, částečně vykompenzovány a parametry dodávaného výkonu jsou zprůměrovány.

Základním způsobem, jak můžeme nahromadit tyto velké energetické excesy do vody je například přečerpávací vodní elektrárna. Další možnost, která se může použít, je skladování ve stlačeném plynu a jeho pozdější použití pro výrobu elektrické energie. Tato řešení nejsou pro Českou republiku moc

vhodná, protože je potřeba velké oblasti pro skladování. Největší výhodou je hromadění energie v takzvaných *flow* bateriích, eventuálně do vodíkových systémů.

Vanadiová redukční baterie

Redukční *flow* baterie je založená na principu konverze elektrické energie - chemická reakce - Vanad s kyselinou sírovou. Vanad je (chemický) prvek, který se vyskytuje v 5 mocnostvích. Vanad je obsažený ve sloučenině Va_2SO_4 . Jestli baterie nabita je vanad převeden na sloučeninu Va_5SO_4 . VRB-ESS váže ionty vanadu v obou polovinách elektrolytického článku. Takto znečištěné ionty jdou skrz filtrační membránu, která nemá žádný trvalý účinek na kapacitu baterie, jak je to v případě v redukčních *flow* bateriích jenž ionty vážou na jiné kovové vazby v kladné a záporné polovině článku. Vanadiový polo-článek může být řešením a dokonce může být znovu uveden zpět do originálního stavu. Takovýto systém má mnoho zajímavých vlastností včetně vysoké účinnosti, dlouhého života, snadné rozšiřitelnosti a zanedbatelného dopadu na životní prostředí [15]



Obr. 16 - Principiální schéma flow baterie [15]

Systém Vodík – kyslík

Tyto systémy by mohly být používány v budoucnu, protože efektivita konverze zpět do elektrické energie je velmi nízká cca 25%. Jestliže dokážeme zapojit větrnou elektrárnu jako zdroje energie do elektrolytického procesu systému vodík-kyslík, tak to bude velmi zajímavé.

Tento systém bude mít dvě možné aplikace:

- Výroba vodíku a kyslíku, jejich prodej (hlavně pro lékařské použití)
 - Výroba vodíku a kyslíku, jejich sklad a pozdější použití pro výrobu elektrické energie a jeho prodej
- Faktem je, že skladování vodíku ve velkém objemu je velmi složité. Je to díky vysoké tekutosti a nepatrné velikosti atomů vodíku, navíc vodík způsobuje křehnutí kovů.

Princip skladování vodíku může být rozdělen do těchto tří systémů:

- v plynné fázi
- v kapalně fázi
- skladování pomocí kovových-hydrid nádrží či jiných chemických adičních sloučenin

Výhoda systému s vodíkem

- a) systém neobsahuje oběhový mechanismus, má jen elektrody, které není nutno po dlouhou dobu udržovat
- b) palivový článek potřebuje velmi čisté palivo.
- c) systém nemá problém s emisemi.
- d) články mohou pracovat, i když je potřeba malého zatížení.
- e) nedělají hluk, s výjimkou čerpadla, kompresoru atd.

U tohoto poslední zmíněného systému je velkým předpokladem, že bude využit pro skladování.

Jeho výhody jsou zvláště velká pohyblivost, uživatelská vstřícnost..

Ze skupiny hydridů, které jsou schopny nahromadit vodík mohou být zmíněny například *Ferro* slitiny *titanu* a kovů vzácných zemin.

Palivové články

Dělení palivových článků:

- a) dle pracovní teploty: nízká teplota (200 °C) vysoké teplotě (nad 600 °C)
- b) dle složení elektrolytu: kyselina (H_2SO_4 , H_2PO_4) alkalická (KOH, NaOH)
- c) dle kompozice a stavu reaktivních materiálů: plynný ($\text{H}_2 + \text{O}_2$), kapalný ($\text{N}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 + \text{okysličovadlo}$), pevný ($\text{Zn} + \text{O}_2 + \text{okysličovadlo}$)
- d) dle tlaku: nízkotlaký (až do 0,5 MPa), vysokotlaký (přes 1MPa) [\[15\]](#)

Super Kondenzátor



Obr. 17 - Super kondenzátor EESTOR [\[15\]](#)

- zařízení schopné rychle akumulovat a následně odevzdat velké množství elektrické energie.
- opakované nabíjení a vybíjení vysokými proudy
- netrpí negativními vlastnostmi jako je zahřívání či snižování životnosti.
- může pracovat za nízkých provozních teplot a nedochází u něj k paměťovému efektu.
- 4-6 minut se nabíjí 152 kg kondenzátor o objemu 33 l, 52 kWh (= 187 MJ), o kapacitě 31 farad, napětí je 3500 volt, s adekvátním chlazením kabelů.
- samočinné vybíjení o 0.1% za měsíc

3.3. Zálohování a možnosti akumulace u fotovoltaických elektráren

3.3.1. Zálohování

U fotovoltaických elektráren je to se zálohováním velmi podobné jak u větrných elektráren. Zase je to zdroj, jenž je závislý na slunci a počasí. Fotovoltaické elektrárny jsou závislé na dodávkách energie ze sítě a tedy i z neobnovitelných zdrojů. Jedná se však o velice nízké odběry např. na provoz řídicího systému nebo např. na temperování měničů napětí v zimních nočních hodinách. Asi nejvíce neobnovitelné energie je spotřebováno při samotné výrobě jednotlivých komponent.

Samotné zálohování zdroje se neřeší pro každou elektrárnu zvlášť. Ze studií, které jsou k dispozici je patrné, že zálohování veškerých nestabilních obnovitelných zdrojů je třeba řešit až při dosažení celkového instalovaného výkonu cca. 1.000 MW.

V kombinaci s čerpáním spodních vod lze uvažovat o zálohování slunečních elektráren právě přečerpávacími vodními elektrárnami. Symbióza Slunce a vody by vypadala tak, že spodní vody by se čerpaly jen pokud by Slunce svítilo, a po západu Slunce by se eventuálně vyrábělo omezené množství elektřiny v přečerpávacích elektrárnách. [\[15\]](#)

3.3.2. Akumulace

Nevýhodou využití sluneční energie je nerovnoměrnost slunečního svitu. Kupříkladu v noci bychom potřebovali energii nejvíce. Nejvíce výhodné by bylo a je energii akumulovat, střídat, v době přebytku a později ji využít v době jejího nedostatku. Akumulace energie do kondenzátorů je vcelku bezvýznamná, jelikož i velký kondenzátor pojme málo energie. Tato akumulace je vhodná pro velmi speciální účely, jako je pohon drobných zařízení - v elektronických zařízeních se používá k uchování paměti při výpadku napájení. Velmi známým druhem akumulace jsou elektrochemické akumulátory nebo akumulátorové baterie o různých velikostech a provedeních. Tyto baterie jak je dobře známo jdou v případě vybití opět nabít.

Nejnámějším akumulátorem je olověná baterie. Další známé akumulátory jsou s alkalickým elektrolytem NiCd, NiZn, AgZn NiMH. Právě NiCd, NiMH a olověné baterie jsou dosažitelnými typy akumulátorů a splňují následující podmínky

- spolehlivost za specifických fotovoltaických podmínek
- nízké samovybíjení
- nulový požadavek na údržbu
- vysoká nabíjecí účinnost
- široká provozní teplota
- robustní design
- nízké Wh náklady vysoká koncentrace energie na jednotku objemu i hmotnosti
- bezpečnost
- uskladnění i použití v jakékoliv pozici
- možnost dlouhodobého stání ve vybitém stavu

Ni-Cd (nikl kadmiové) akumulátory

Spolehlivé za extrémních provozních stavů, vysoká hustota energie na jednotku hmotnosti objemu, dobrá tolerance na přebíjení a převybití (přepólování) malé samovybití, odolné proti zvýšeným teplotám, životnost 500 cyklů nabití/vybití při 80% 20let - 15% vytěžování, citlivé na paměťový efekt. Díky tomu že Cd je karcinogenní kov výrobce musí zabezpečit zpětný odběr. Na celém světě se od těchto baterií upouští

Ni-MH (Nikl Metal Hydrid) akumulátory

Vynikající objemová koncentrace energie 300Wh/dm³, životnost je 500 cyklů nabití/vybití při 80%, výrazně dražší než olověné akumulátory. Mají relativně vysoké samovybití a problematické určení stavu plného nabití a díky tomu se zvýšeným rizikem přebití. Jsou dobrým kompromisem mezi výkonem, energetickou spotřebou a cenou. Díky citlivosti na teplotu je od výrobce baterie opatřena chlazením [17]

Olověné akumulátory

99% aplikací využívá olověných akumulátorů. Dělí se na 2 základní typy:

- 1) otevřené akumulátory se zaplavenou konstrukcí
- 2) akumulátory bezúdržbové řízené ventilem

Další dělení může být dle typu elektrod:

- a) deskové
- b) trubkové

Deskové olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí: cenově nejvýhodnější, ale na úkor hustoty energie na jednotku objemu, životnost je 0,5 - 3 roky dle podmínek provozu, používá se ve fotovoltaických aplikacích v rozvojových zemích pro domácí solární systémy.

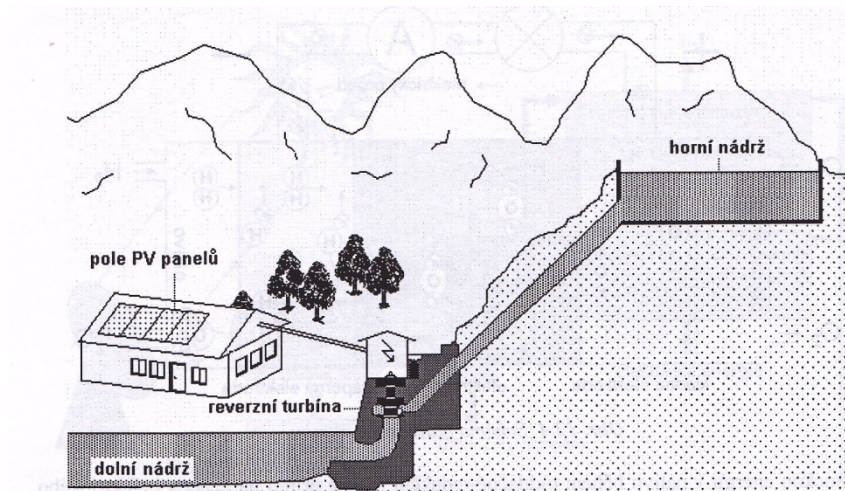
Trubkové akumulátory se zaplavenou konstrukcí: 8letá životnost při 50% využití, použití je u velkých stacionárních fotovoltaických aplikacích

Dalším principem, jenž už byl nastíněn výše je princip přečerpávacích elektráren. Mějme jednu nádrž umístěnou výš než druhou. Obě jsou propojeny potrubím s reverzní turbínou. V době přebytku energie se může přečerpat voda do horní nádrže. Díky tomu voda zvýší svou potenciální energii dle rovince:

$$\Delta W_p = m * g * \Delta h \quad (7)$$

[16]

Naopak, je-li nedostatek energie voda může předávat energii turbíně a tudíž i napojenému elektrickému generátoru. Právě podle velikosti fotovoltaického systému je nutno dimenzovat velikost nádrží a turbíny [17]



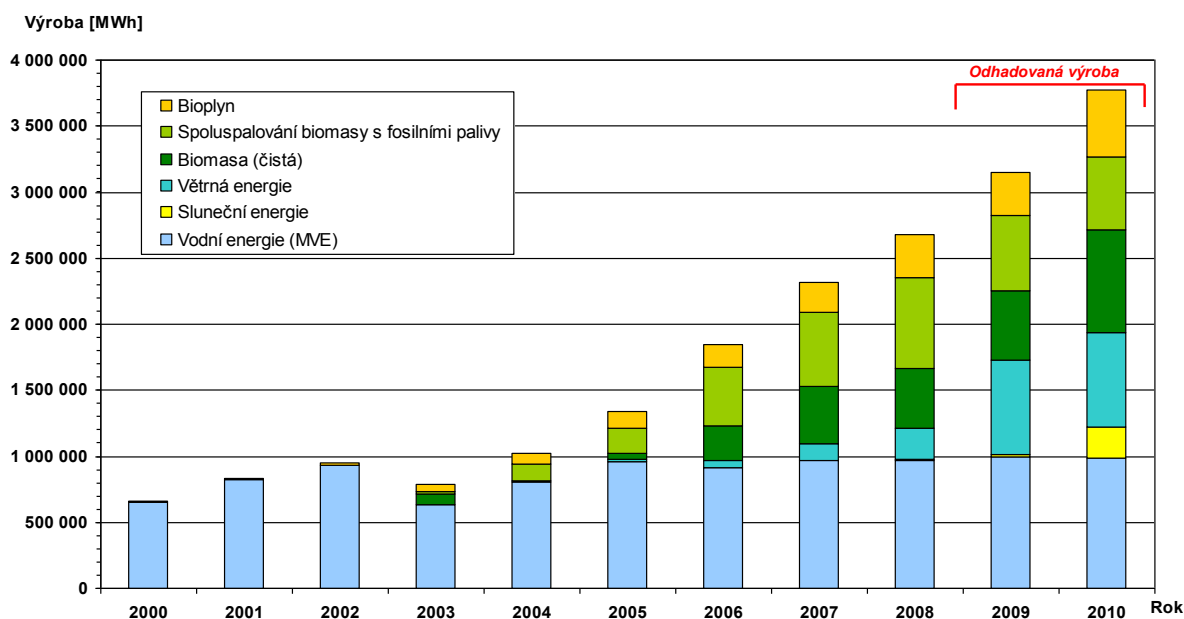
Obr. 18 - Malá přečerpávací elektrárna [16]

Akumulace energie do vodíku vyráběného elektrolýzou vody je dalším perspektivní možností jak akumulovat energii. V dnešní době je využití vodíku kolem 1% všech zdrojů energie. Zatím je to jen vodík získaný z fosilních paliv. Vodíkové hospodářství neboli vodíkový energetický systém je zkoumán už od 60. let 20. století. Ze začátku se využívalo mimošpičkového výkonu převážně z jaderných elektráren. V poslední době přibyla možnost využití přebytečného výkonu fotovoltaických systémů a větrných elektráren.

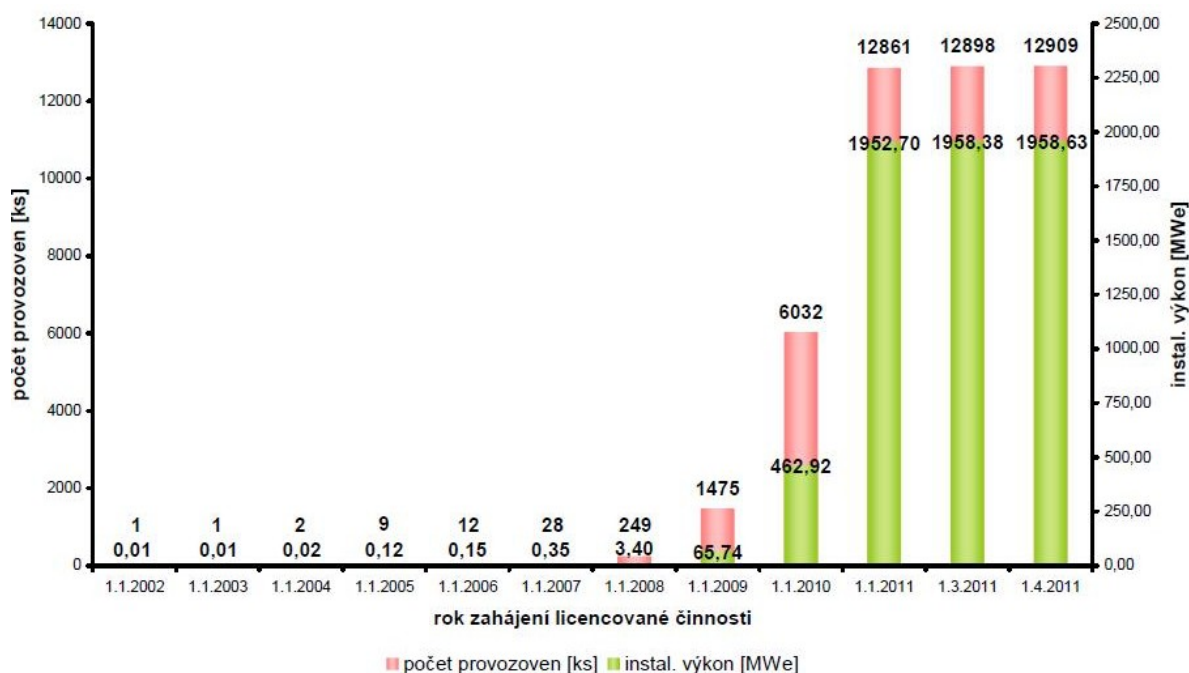
Co se týká vodíku tak nejlepším způsobem jeho využití je výroba elektrické energie v palivových článcích pomocí řízené elektrochemické reakce - studená oxidace vodíku. [17]

4. Specifické vlastnosti fotovoltaických zdrojů vzhledem k připojování do distribučních sítí

Začleňování OZE do místních a nadřazených energetických systémů je jednou z priorit energetické politiky. Jedná se o otázku snížení závislosti na dovozu energie a vytváření větších, relativně soběstačných energetických celků a environmentální politiku. Ambiciózním úkolem je zvýšení podílu OZE na bilanci primárních energetických zdrojů.



Obr. 19 - Vývoj výroby elektřiny z OZE v ČR – vydaný předpoklad na začátku roku 2010 [21]



Obr. 20 - FVE k 1. 4. 2011 [21]

4.1. Specifické vlastnosti fotovoltaických zdrojů

1) Vysoké investiční náklady

Hlavním zájmem je doba návratnosti investice. Tím pádem se odráží i technické provedení a účinnost instalace s v neposlední řadě i doba provozu. Proto je kladen důraz na snížení rizik a případný rozsah poruch na minimum. Nejnákladnější částí jsou fotovoltaické panely, měniče a kabely, proto se ochrana zaměřuje především na výše uvedené části. Co se týká poruchy nebo destrukce, tak k ní může dojít vlivem atmosférických spínacích přepětí. Dalším potenciálním zdrojem poruchy je zkratování části elektrického obvodu. To může mít za následek proudového přetížení určitých částí elektrického obvodu a následnému přetížení částí s možností vzniku požáru nebo k úplné destrukci. Z toho plyne, že je u fotovoltaických systémů nutno používat přístroje osvědčeného výrobce nebo výrobců.

2) DC napětí relativně vysokých hodnot

Fotovoltaické články jsou zdrojem stejnosměrné energie. V praxi jsou to stejnosměrná napětí převážně do 1000 V, přičemž právě tyto hodnoty jsou dány počtem panelů řazených v sérii jednotlivých fotovoltaických polí. Co se týká průběhu stejnosměrného elektrického proudu je v ideálním případě konstantní a neprochází nulou. Díky tomu je jasné, že vypínání stejnosměrného proudu je obtížnější než u střídavého proudu. Z tohoto důvodu je nutno používat speciální ochranné a spínací přístroje, jež jsou pro tuto funkci určeny. Výstup z měniče je ve střídavých veličinách.

4.1.1. Typy fotovoltaických instalací

Ostrovní systémy stand-alone, grid-off

Ne vždy je možnost využívat elektrickou energii dodávanou z distribuční sítě. Tato situace obvykle nastává na odlehlých chatách a chalupách, zahradních domcích, karavanech, přívěsech, houseboatech, jachtách, případně v odlehlých průmyslových objektech a podobně.

Zde je obvykle vyžadován komfort domova v podobě možnosti poslouchat rádio, sledovat televizi nebo uložit si netrvanlivé potraviny do ledničky, případně potřebujeme elektrickou energii k pohonu nějakého zařízení, například čerpadla nebo zavlažování.

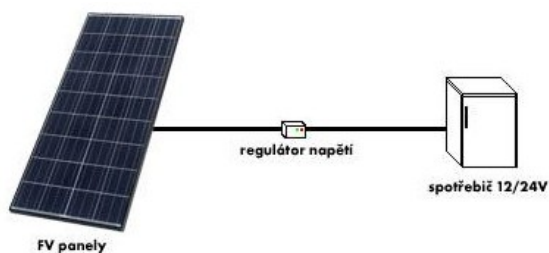
Řešením situace kdy napojení na síť je neekonomické může být fotovoltaický systém odpovídajícího výkonu. Systém se vyplatí v případě tam, kde by bylo nutno vybudovat elektrickou přípojku od 500 metrů a více.

SSI je možné pomocí napěťového měniče přetransformovat na SII, nicméně měnič znamená obvykle nemalou investici. Proto je zvláště u menších instalací (do 0,5kWp) výhodnější využívat spotřebiče na SSI (v současnosti jsou k dostání svítidla, lampičky, ponorná sací čerpadla, chladicí boxy, lednice, ...). Neméně důležitá je také spotřeba energie, čím menší je spotřeba, tím menší budou požadavky na akumulátory a výkon fotovoltaických panelů a tím bude také celá instalace levnější, spotřebiče by tedy měly být voleny s ohledem na maximální úspornost. [\[20\]](#)

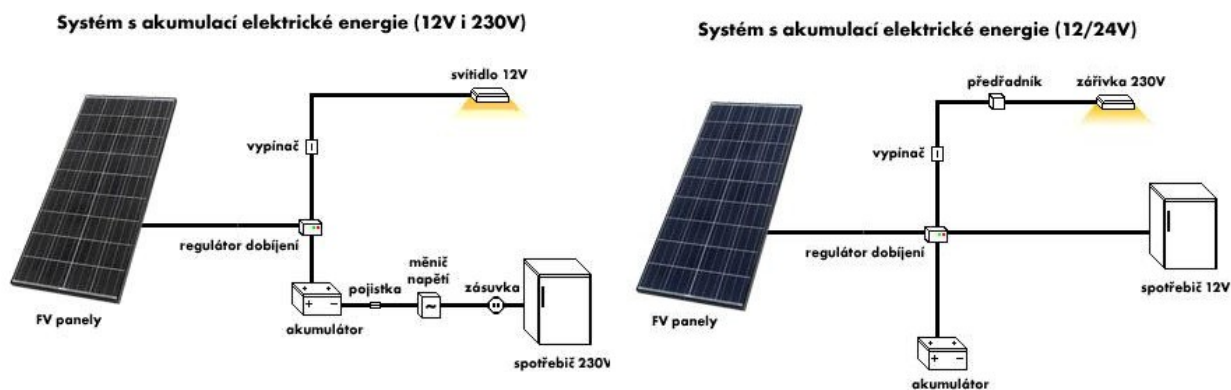
Systemy s přímým napájením

Používají se v případech, kdy je připojené elektrické zařízení funkční jenom po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Jedná se pouze o propojení solárního modulu a spotřebiče přes regulátor napětí, například při čerpání vody pro závlahu, napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu teplé užitkové vody, pohon protislunečních clon nebo nabíjení akumulátorů malých přístrojů - mobilní telefon, notebook, svítidla atd.

Dále je varianta použita v případech, kdy potřeba elektřiny nastává i v době bez slunečního záření. Z tohoto důvodu mají tyto ostrovní systémy speciální akumulátorové baterie, konstruované pro pomalé nabíjení i vybíjení; automobilové akumulátory se zde příliš nehodí, protože jsou konstruovány pro vysoký proud za krátký časový úsek. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátorů je zajištěno regulátorem dobíjení. K ostrovnímu systému lze připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (napětí systému bývá zpravidla 12 nebo 24 V), případně běžné síťové spotřebiče 230 V/50 Hz napájené přes napěťový střídač. Tyto systémy získávají uplatnění například jako zdroj elektrické energie pro chaty a další objekty, napájení dopravní signalizace, telekomunikačních zařízení nebo monitorovacích přístrojů v terénu, u zahradního osvětlení, světelné reklamy nebo při campingu a jachtingu.



Obr. 21 - FV Systém s přímým napájením[20]

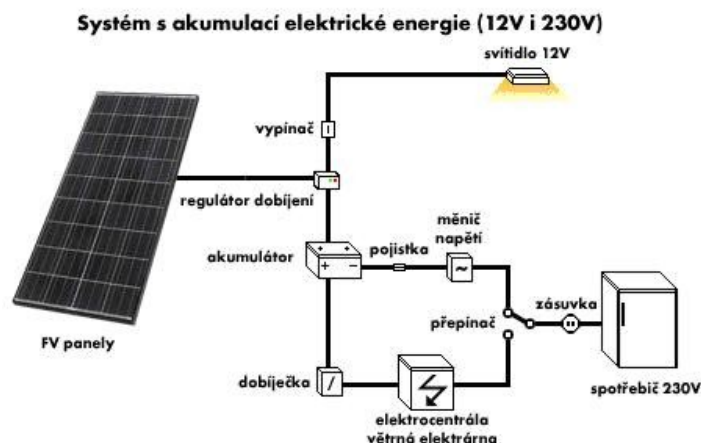


Obr.22 - 2 systémy s akumulací[20]

Hybridní ostrovní systémy

Hybridní ostrovní systémy se používají tam, kde je nutný celoroční provoz a kde je občas používáno zařízení s vysokým příkonem. V zimních měsících je možné získat z fotovoltaického zdroje podstatně méně elektrické energie než v letních měsících. Proto je nutné tyto systémy navrhovat na zimní provoz, což má za následek zvýšení instalovaného výkonu systému a podstatné zvýšení pořizovacích nákladů. Výhodnější alternativou proto je rozšíření systému doplňkovým zdrojem elektřiny, který pokryje potřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem a při

provozu zařízení s vysokým příkonem. Takovým zdrojem může být větrná elektrárna, elektrocentrála, kogenerační jednotka apod. [20]



Obr. 23 - Hybridní ostrovní systém [20]

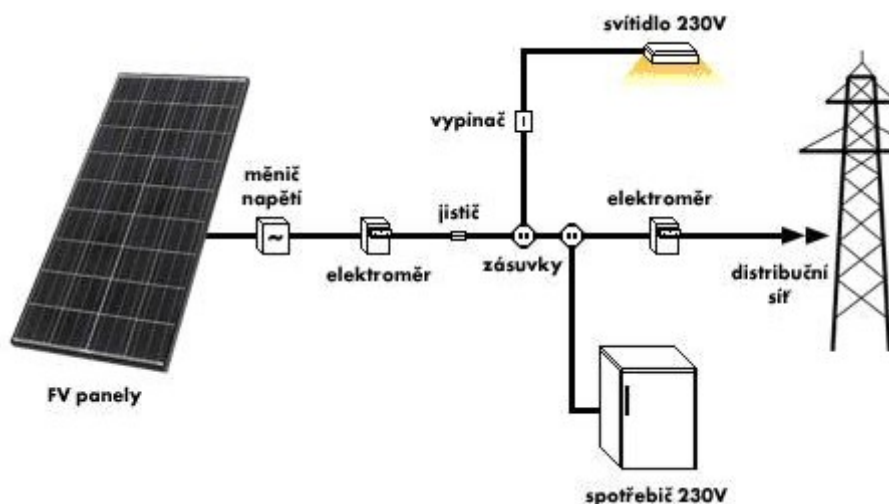
Systémy připojené na síť (grid-connected)

FV systémy připojené k rozvodné síti nejsou vzhledem k relativně kvalitní distribuční síti a stálosti dodávek elektřiny instalovány z důvodu nedostatku elektrické energie, jako je tomu u ostrovních systémů. Důvodem instalace je zpravidla ekologický přínos fotovoltaického systému v tom, že při výrobě této elektřiny není vypouštěn žádný oxid uhličitý a dále jsou motivem možné dosažitelné úspory potažmo i zisk, který může z takové investice plynout. Systémy připojené na síť jsou zpravidla budovány na rodinných domech nebo v průmyslových objektech, přičemž energie vyrobená systémem je buď spotřebována přímo v daném objektu a případné přebytky jsou prodány do distribuční sítě, nebo je systém určen výhradně k výrobě a dodávání za výkupní cenu do distribuční sítě, tedy bez žádné vlastní spotřeby v místě instalace. Pokud je elektrická energie vyrobená solárním systémem spotřebována přímo tam, kde je vyrobena, ušetří investor cenu energie, kterou by musel jinak nakoupit a za tuto energii navíc inkasuje od distributora tzv. zelený bonus - systémy s vlastní spotřebou jsou tedy vůbec nejvýhodnější možnou investicí. V systémech připojených na síť se neinstalují žádné akumulátory.

Systémy pro vlastní spotřebu a prodej přebytků (ZELENÝ BONUS)

Systém v této konfiguraci obsahuje fotovoltaické moduly připojené na napěťový měnič pro přeměnu SSI na SII a zvláštní elektroměr pro odpočet energie vyrobené fotovoltaikou. Celý tento okruh je připojen na samostatný jistič a přepětovou ochranu do rozvaděče v daném objektu. Solární systém je připojen za hlavní elektroměr (z pohledu distribuční společnosti), je tedy možné dodávat energii spotřebičům v objektu (a tím šetřit náklady na odebranou elektřinu) nebo ji v případě přebytků přes hlavní čtyřkvadrantní elektroměr předávat do sítě. V obou případech je za vyrobenou elektřinu inkasován tzv. zelený bonus, v případě prodeje přebytků do sítě navíc výrobce inkasuje rozdíl mezi výkupní cenou a zeleným bonusem.

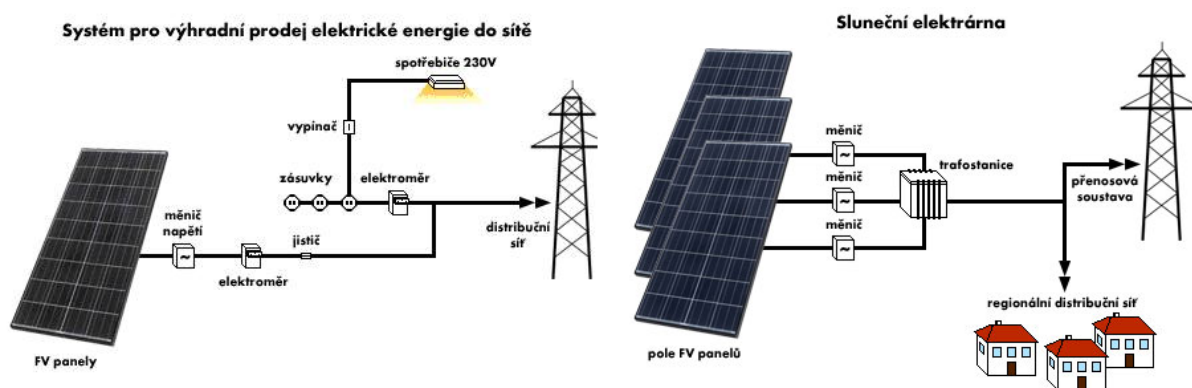
Fotovoltaické systémy pro prioritní odběr spotřebiči s možností prodeje přebytků jsou nejvýhodnější variantou, protože v případě vlastní spotřeby nenakupujeme elektřinu ze sítě (úspora) a naopak navíc inkasujeme od provozovatele distribuční sítě zelený bonus za výrobu elektřiny čistým způsobem.



Obr. 24 - Systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě [20]

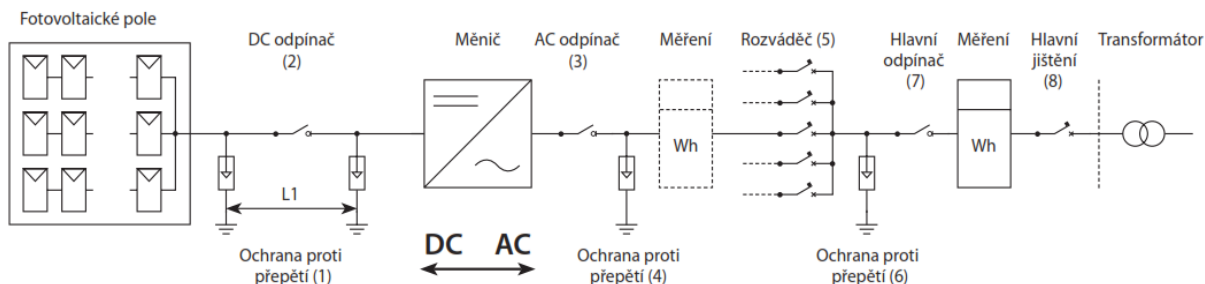
Systémy pro prodej elektrické energie do sítě (PŘÍMÝ PRODEJ)

Tento systém obsahuje fotovoltaické panely připojené na napěťový měnič, který přemění SSI na SSI a elektroměr pro odpočet energie vyrobené fotovoltaikou. Tento okruh je přes jistič a přepětovou ochranu připojen ještě před hlavní elektroměr v objektu (z pohledu distribuční společnosti). Veškerá vyrobená elektrická energie je tedy dodávána do distribuční sítě za výkupní cenu. Výkupní cena platná pro systémy uvedené do provozu po 1.1. 2011 dle rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 2/2010 činí výkupní cena pro rok 2011 pro systémy do 30kW: 7,50 Kč/kWh, výkupní cena pro rok 2011 pro systémy nad 30 do 100kW: 5,90 Kč/kWh a pro systémy nad 100kW: 5,50 Kč/kWh bez DPH. [20]



Obr. 25 - Systém pro prodej a FVE [20]

4.2. Obecné schéma zapojení fotovoltaického zdroje

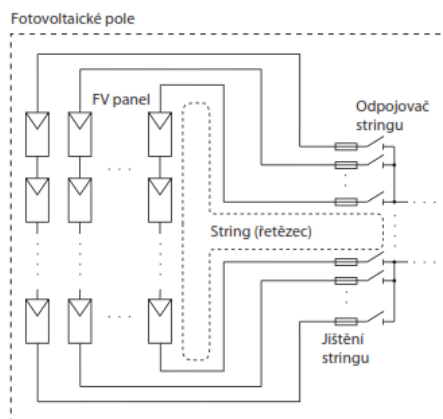


Obr. 26 - Obecné schéma fotovoltaického zdroje pracujícího paralelně s distribuční sítí [18]

Zdrojem elektrické energie je fotovoltaické pole. Toto pole je pomocí vedení spojeno s měničem. U většího počtu paralelně řazených stringů (= skupina FV panelů spojených společně do série) je nutno zajistit ochranu FV panelů proti zpětným proudům a nadproudovou ochranu kabelů FV pole při poruše. Je zde také řešena ochrana proti přepětí (1). Pokud je vedení mezi FV polem a měničem, je vhodné použít svodiče přepětí jak u měniče, tak v blízkosti FV polí. K zajištění údržby měniče je nutné splnit požadavek na jeho možné odpojení od AC i DC strany, proto je u měniče instalován DC odpínač (2) a AC odpínač (3). V případě, že je funkčně zajištěno, aby vypnutí (zapnutí) DC strany probíhalo vždy bez zátěže, tzn., že AC strana bude vypínána dříve a zapínána následně, pak lze na místě DC strany použít i odpojovač. Za AC odpínačem je instalován svodič přepětí (4), který je doporučen především následuje-li dlouhé vedení. Dále může být zapojeno místní měření elektrické energie vyrobené FV zdrojem, které je následně připojeno přes jističí přístroj k rozváděči (5). V případě FV zdroje velkého výkonu jsou do rozváděče připojeny přes jističí přístroje jednotlivé paralelní větve FV zdroje. Rozváděč a následný elektrický rozvod je chráněn ze strany připojení k distribuční síti svodičem přepětí (6). Měření dodané a spotřebované energie (výroba a spotřeba v místě – zelený bonus) nebo jen dodané energie (pouze výroba bez spotřeby) předchází hlavní odpínač (7) rozváděče. Rozváděč, odpínač a vedení směrem k distribučnímu rozvodu je chráněno proti přetížení a zkratu hlavním jističím přístrojem (8).

U většího počtu paralelně řazených stringů ve FV poli je nutné zajistit ochranu FV panelů proti zpětným proudům a nadproudovou ochranou kabelů Obr. 27 - Fotovoltaické pole v detailu.

Zkratový proud FV panelu je o 10% - 20% větší než jmenovitý provozní proud.



Obr. 27 - Fotovoltaické pole v detailu [18]

Jedná-li se o aplikaci s počtem stringů maximálně 3, nehrozí poškození panelu poruchovým zpětným proudem vyvolaným zkratem. Riziko tepelného přetížení kabelů vlivem zkratu lze v tomto případě řešit jejich vhodným předimenzováním. Při větším počtu paralelních stringů je nutno vzít v potaz hodnotu možného zpětného proudu s ohledem na maximální dovolený zpětný proud FV panelu. [\[18\]](#)

4.3. Specifické vlastnosti připojování FV zdrojů do sítě VN (FVE)

4.3.1. Výpočty ustálených stavů a zkratových poměrů FVE

Připojení FVE se předpokládá přes transformátory s převodem 22/0,42/0,242 kV se jmenovitými výkony nejčastěji 630kVA, 1000kVA, 1600kVA, napětím nakrátko 6%, zapojení Dyn1. Transformátory umístěny v areálu elektrárny.

Co se týká výpočtů ustálených stavů nebo elektrických zkratů v místě připojení FVE na vedení VN, tak je nutno respektovat i jiné zdroje v oblasti, jenž jsou napájeny z rozvodny 11/22 kV. Je tedy nutno stanovovat tyto stavy s uvažováním skutečných (pravděpodobných) stavů zatížení, respektování sezónních vlivů, klimatu a stanovit vzájemný vtaž mezi prognózou počasí a vyráběným výkonem.

Pro posouzení připojitelnosti daného FVE se přihlíží k méně příznivým výsledkům. Ty jsou při uvažování transformátoru 110 /22 kV s menším výkonem (pokud jsou například v rozvodně dva transformátory a to s výkonem 25 MVA a 40 MVA), nižšího zkratového výkonu na straně 110 kV.

Poznámka:

Podmínka připojení s celým výkonem je jen teoretická, poněvadž podle velikosti vstupního SSU je možno dodávat výkon u jednotky s maximálním výkonem 6 kW od cca 500 W resp. 800 W, proto nebude „skoková“ změna vypočteného celkového výkonu v MW při připojení FVE, ale výkon naroste z minimální hodnoty cca o 10 %.

U výpočtu odpojení FVE není problém namodelovat vypnutí celého výkonu správně. Vychází se ze změny napětí v místě připojení, která je stejně velká jako při připojení celého výkonu. Dle PPDS musí být splněna tato podmínka: $\leq 2\% U_n$. Uvedená podmínka platí i pro ostatní disperzní zdroje (decentralizované).

Při připínání a odpínání FVE na straně VN prakticky nezpůsobuje kolísání napětí. Je to z důvodu, že vlastní připojování se děje postupně od relativně malých hodnot (cca do 10% jmenovitého výkonu) s pozvolným nárůstem. Při odpojení FVE od VN dojde k jejímu připojení do cca 90 s.

4.3.1. Možné zpětné vlivy na DS – kolísání napětí a frekvence při připojování k vedení NN a při vypnutí, vyšší harmonické a jejich vliv

V ČR se v současnosti připojují do DS nejčastěji fotovoltaické výroby s fotovoltaickými panely, jež jsou vyrobené pomocí technologie tenkých vrstev (amorfni Si a polykrystalický Si) a střídače SMC 4000 – 8000. Nejčastěji se vyskytuje střídač SMC 6000A, který se používá pro decentrální provedení zapojení.

Střídač typu SMC 6000 A

Tab. 2 - Kolísání napětí a flicker efekt u SMC 6000 A [19]

Kolísání napětí a flicker efekt				
	Maximální povolené kolísání napětí (vyjádřené procentuálně z nominální hodnoty 100%) a flicker z normy EN 61000-3-3			
	Začátek	Konec	V chodu	
Hranice	4%	4%	$P_{st.} = 1,0$	$P_{lt.} = 0,65$
Testovaná hodnota	$< 0,7$	$< 1,7$	0,119	0,01

Parametr Flicker: teoretické hodnoty při startu a odstavení - limit je 4%, ale naměřené hodnoty byly při startu $< 0,7\%$, odstavení $1,7\%$. Všechny naměřené hodnoty odpovídaly normě EN 61000-3-3.

Tab. 3 - Hodnoty proudů vyšších harmonických u SMC 6000 A [19]

Harmonické proudové emise								
Maximální dovolená harmonická proudy dle normy EN 61000-3-2 Třída A								
Harmonická	2	3	5	7	9	11	13	$15 \leq n \leq 39$
Hranice	1,08	2,3	1,14	0,77	0,4	0,33	0,21	$0,15^\circ (15/n)$
Testovaná hodnota	0,155	0,494	0,447	0,365	0,267	0,196	0,13	$< \text{hranice}$ BS EN 61000-3-2

Viz.: Tab. 3 - Hodnoty proudů vyšších harmonických u SMC 6000 A [19] Byla prováděna měření vyšších harmonických řádu 2. 3., 5., 7., 9., 11., 13. a naměřená hodnota nepřesáhla $0,5\%$ a to odpovídá normě EN 6100-3-2. Přípustné harmonické proudy pro síť VN, vtažené na zkratový výkon, které jsou vyvolány zařízením přímo připojeným do této sítě, jsou uvedeny v tabulce 3. Pro místo připojení FVE lze stanovit přípustné harmonické proudy ze vztažných proudů násobených zkratovým výkonem v přípojném bodě.

V praxi je úroveň hodnot vyšších harmonických proudů u FVE výrazně menší než výše vypočtené hodnoty.

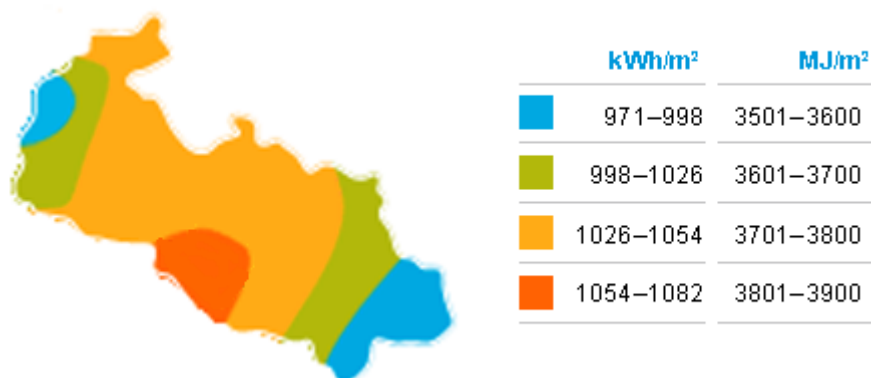
Závěrem FVE typu SMC 6000 A jsou zanedbatelným zdrojem meziproduktů (i napětí). Z tohoto důvodu by neměly způsobovat rušení HDO přijímačů. [19]

5. Analýza kolísání činného a jalového výkonu u vytipované fotovoltaické elektrárny

5.1. Obecný úvod

Součástí a hlavní náplní této diplomové práce je právě výše zmíněná analýza kolísání činného a jalového výkonu u vytipované fotovoltaické elektrárny. Elektrárna se nachází v moravskoslezském kraji. Její celkový instalovaný výkon je 1,1 MWp. Je sestavena z 5304 ks FV panelů a byla uvedena do provozu v roce 2009. Elektrárna je připojena přes transformátor do sítě 22 kV.

Všeobecně vzato každá fotovoltaická elektrárna je závislá na denní době, počasí, ročním období a na oblačnosti v dané lokalitě. V moravskoslezském kraji je průměrný roční úhrn slunečního záření v rozmezí 1054 - 1082 kWh/m². Využitelná energie ze slunce se zde pohybuje mezi 3801-3900 MJ/m² viz: Obr. 28 - Průměrný roční úhrn globálního záření v Moravskoslezském kraji



Obr. 28 - Průměrný roční úhrn globálního záření v Moravskoslezském kraji [29]

Efektivnost nejen tohoto, ale i každého energetického zdroje se nejlépe stanovuje pomocí takzvaného koeficientu využití. Vztah pro výpočet koeficientu:

$$k_V = \frac{W_T}{P_i * h} \quad (8)$$

[29]

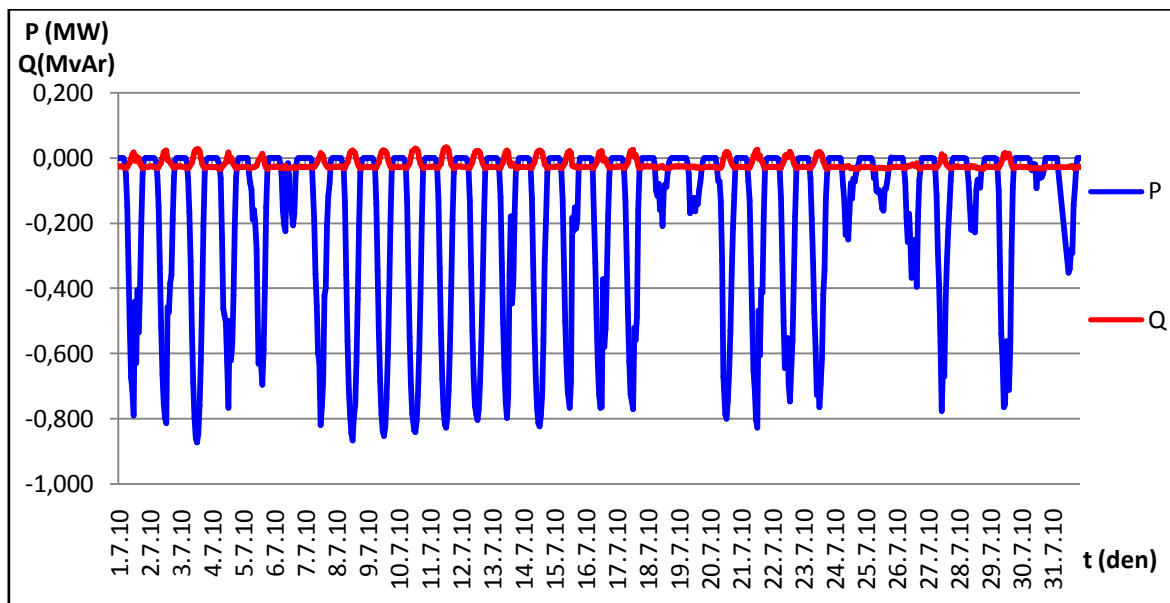
W_T ... množství vyrobené energie [kWh]

P_i ... instalovaný výkon [kW]

h ... počet hodin

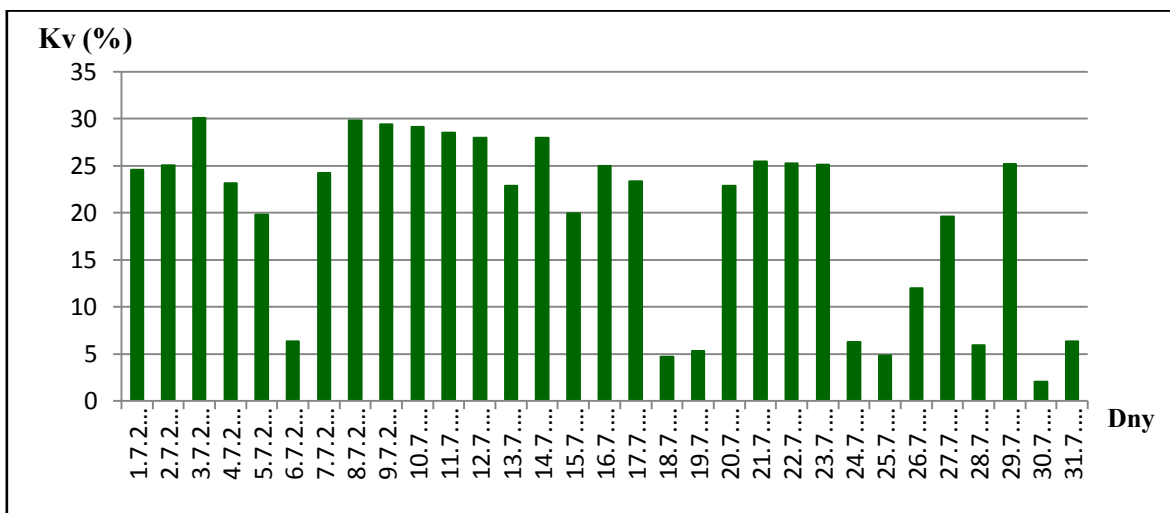
Dále se u každého energetického zdroje sledují dodávky činného a jalového výkonu. Dle dodávek je potom jasné jak energetický zdroj dodával do sítě nebo odebíral ze sítě energii.

5.2 Analýza kolísání činného a jalového výkonu v červenci 2010



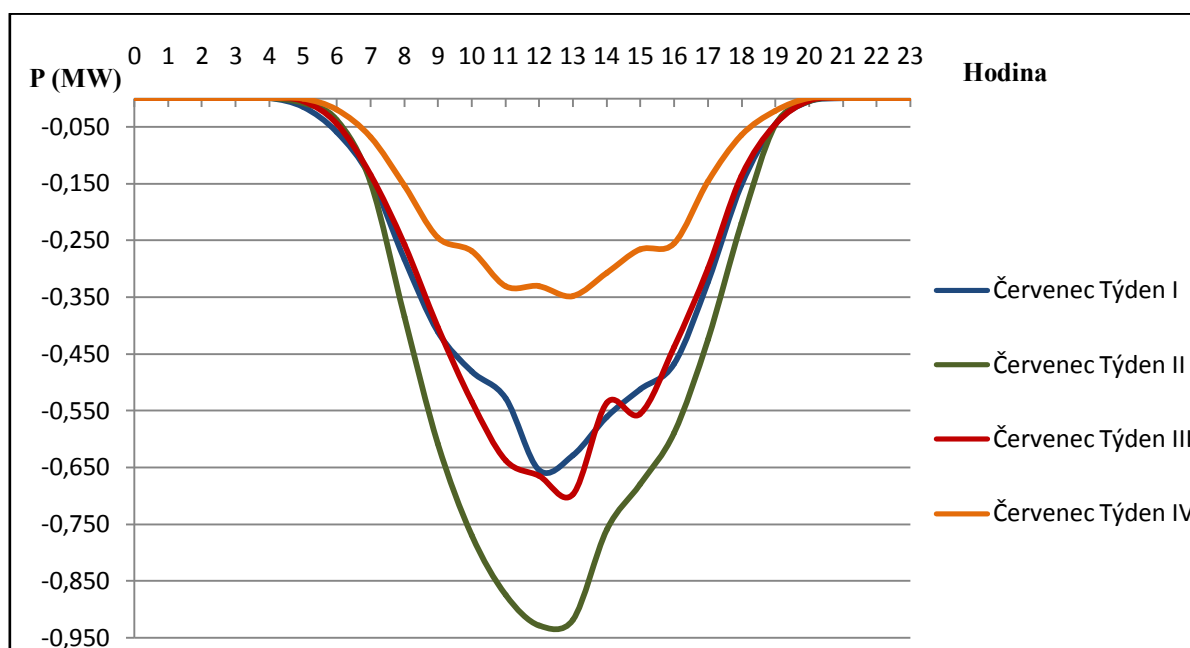
Obr. 29 - Kolísání činného a jalového výkonu v Červenci 2010 [29]

Viz.: Obr. 29 - Kolísání činného a jalového výkonu v Červenci 2010 [29] - Jak je vidět, tak do 18 dne v měsíci kromě 6 dne elektrárna dodávala elektrárna do sítě výkon. V druhé polovině měsíce už dodávka výkonu kolísala. Z obrázku tedy plyne, že první polovina měsíce byla slunečná. Nejvíce elektrárna dodávala výkon 3.7. cca 0,867 MW. Naopak nejmenší dodávka výkonu byla 30.7. a to cca 0,049 MW.



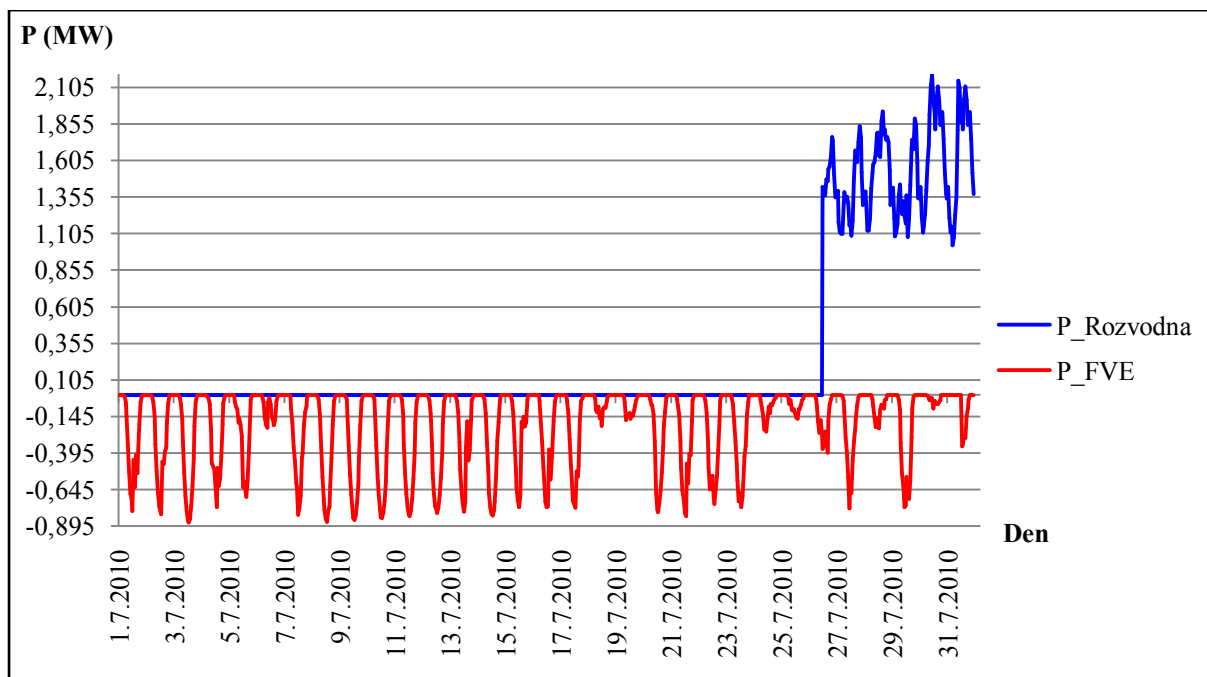
Obr. 30 - Koeficient využití v Červenci 2010 [29]

Viz.: Obr. 30 - Koeficient využití v Červenci 2010 [29] - Co se týká koeficientu využití v Červenci, tak nejhoršího koeficientu využití elektrárna dosáhla 30.7. kdy využitelnost činila jen něco kolem 2%. Nejvyššího koeficientu využití bylo dosaženo 3.7. což bylo 30%. Průměrně tedy za měsíc Červenec dosáhla elektrárna 19,62 % využití.



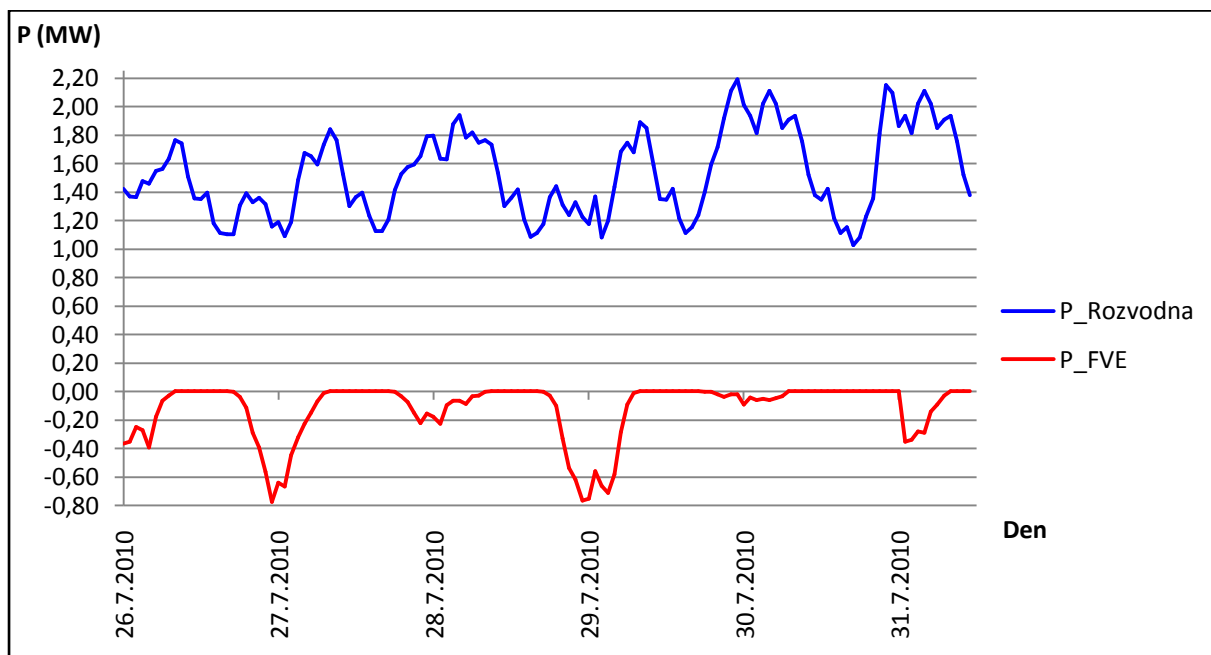
Obr. 31 – Křivky výkonů FVE za Červenec 2010 [29]

Viz.: Obr. 31 – Křivky výkonů FVE za Červenec 2010 [29] – Křivky výkonů ukazují, že nejvyšších hodnot dodávaného výkonu bylo dosaženo ve 2 týdnů. Maximální hodnota okamžitého výkonu byla dosažena kolem 1 hodiny a činila cca 0,919 MW. Z obrázku je vidět, kdy slunce vycházelo a jak dlouho svítilo. Nejhorším týdnem byl čtvrtý týden v červenci, kdy bylo zřejmě hodně oblačno, protože tady dosahovala elektrárna maximální hodnoty výkonu cca 0,348 MW kolem 13 hodiny.



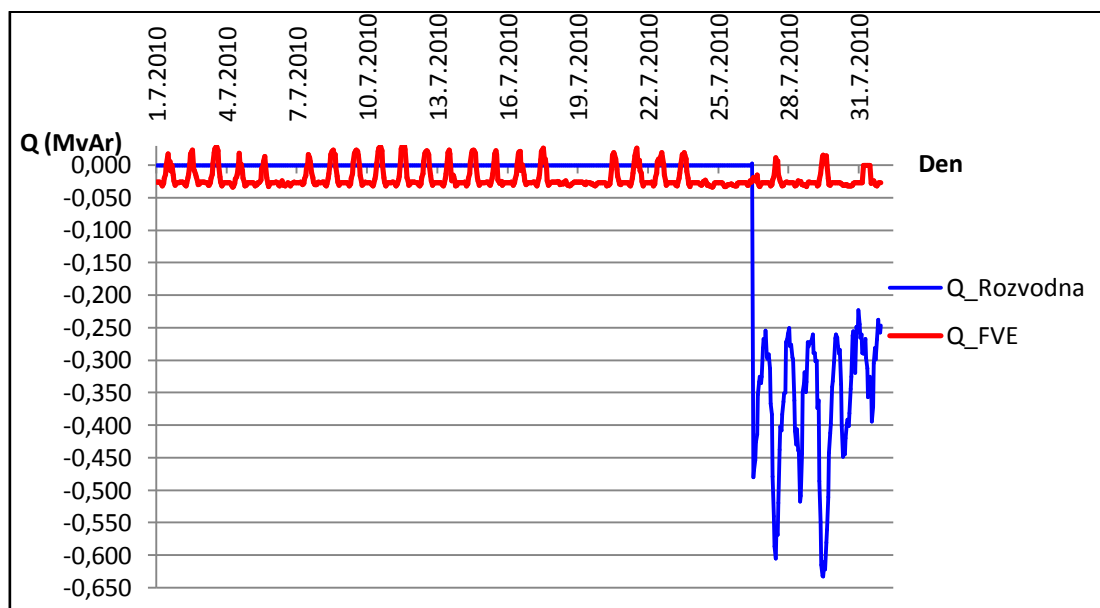
Obr. 32 – Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Červenci 2010 [29]

Viz.: Obr. 32 – Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Červenci 2010 [29] Od 1. 7. 2010 do 26.7.2010 nejsou data k dispozici. Výkon v síti byl a u FVE byl měřen od 26.7. 2010 do 31.7.2010. Viz. Obr. 33.



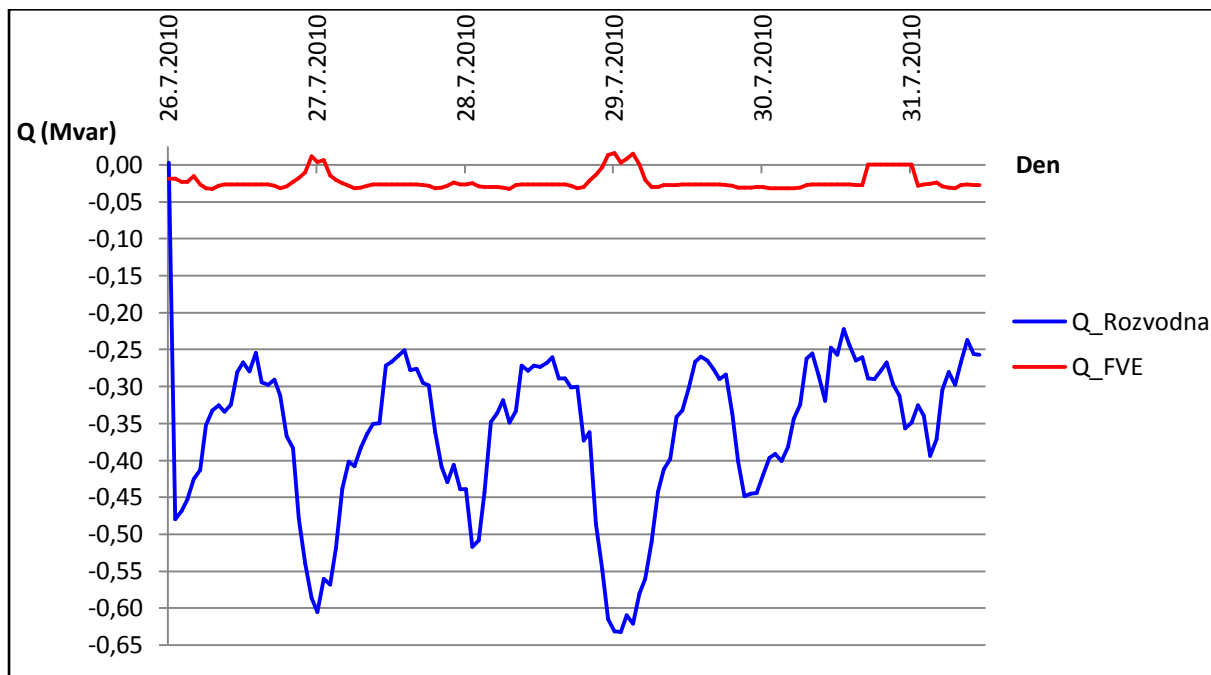
Obr. 33 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE od 26. do 31. Července 2010 [29]

Viz.: Obr. 33 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE od 26. do 31. Července 2010 [29] – Je vidět jaký výkon byl v síti a jaký výkon elektrárna do sítě dodávala. Fotovoltaická elektrárna měla 2 maximální dodávky výkonu do sítě a to: 27.7. v 11:00 výkonem cca 0,775 MW a druhé maximum nastalo 29.7. ve 12:00 výkonem cca 0,755 MW. Síť ve dnech maximální dodávky z fotovoltaické elektrárny disponovala výkony, 27.7. v 11:00, 1,31 MW a 29.7. ve 12:00, 1,17 MW. V síti byl 30.7. nejvyšší výkon, a sice 2,19 MW, v této době dodávala elektrárna cca 0,092 MW.



Obr. 34 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q v Červenci 2010 [29]

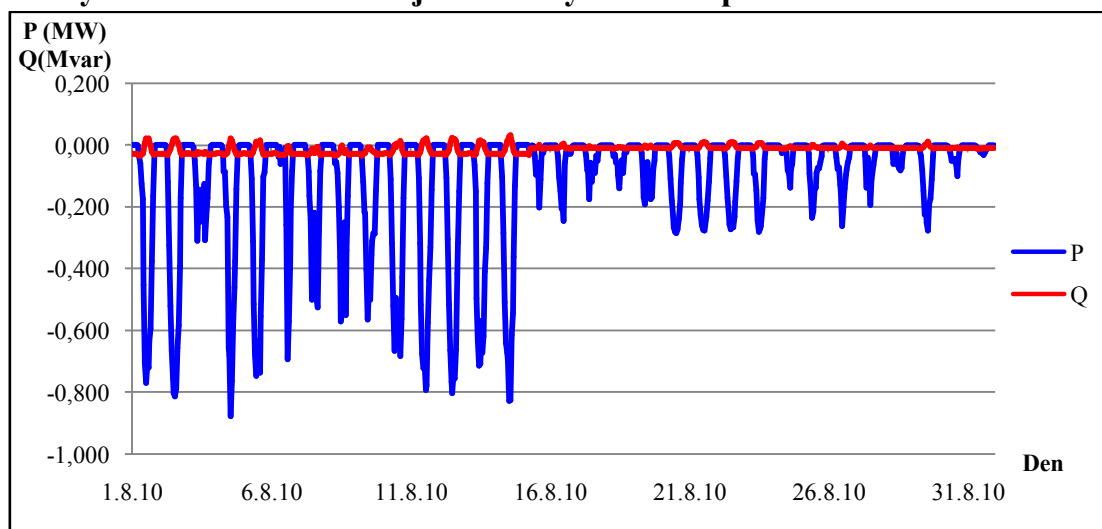
Viz.: Obr. 34 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q v Červenci 2010 – kvůli nedostatku dat z rozvodny je diagram zatížení pro výkon v Červenci upraven od 26.7.2010, kdy už data z rozvodny byly k dispozici. Viz Obr. 35



Obr. 35 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q od 26. do 31. Července 2010 [29]

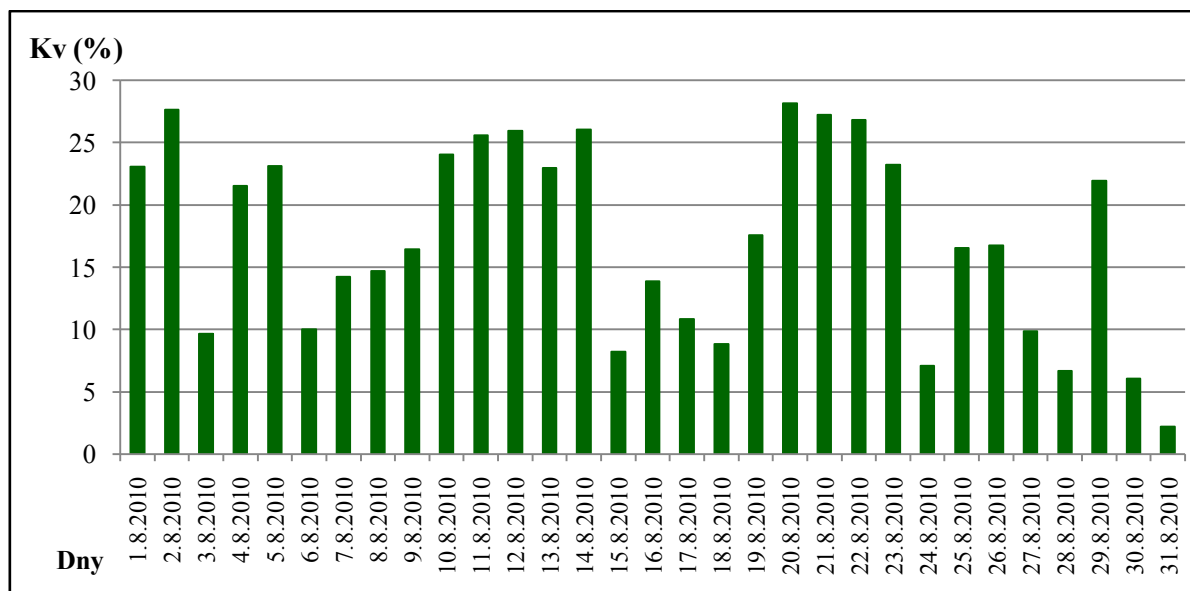
Viz.: Obr. 35 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q od 26. do 31. Července 2010 [29] – Sít' měla ve dnech od 26-31 července 2 maxima, kterých dosáhl jalový výkon. První maximum nastalo 27.7. v 11:00 hodnotou 0,61 Mvar. Druhé maximum nastalo 29.7. ve 13:00 hodnotou 0,63 Mvar. V těchto dnech dodávala fotovoltaická elektrárna jalový výkon o hodnotách cca 0,011 Mvar a cca 0,008 Mvar.

5.3 Analýza kolísání činného a jalového výkonu v srpnu 2010



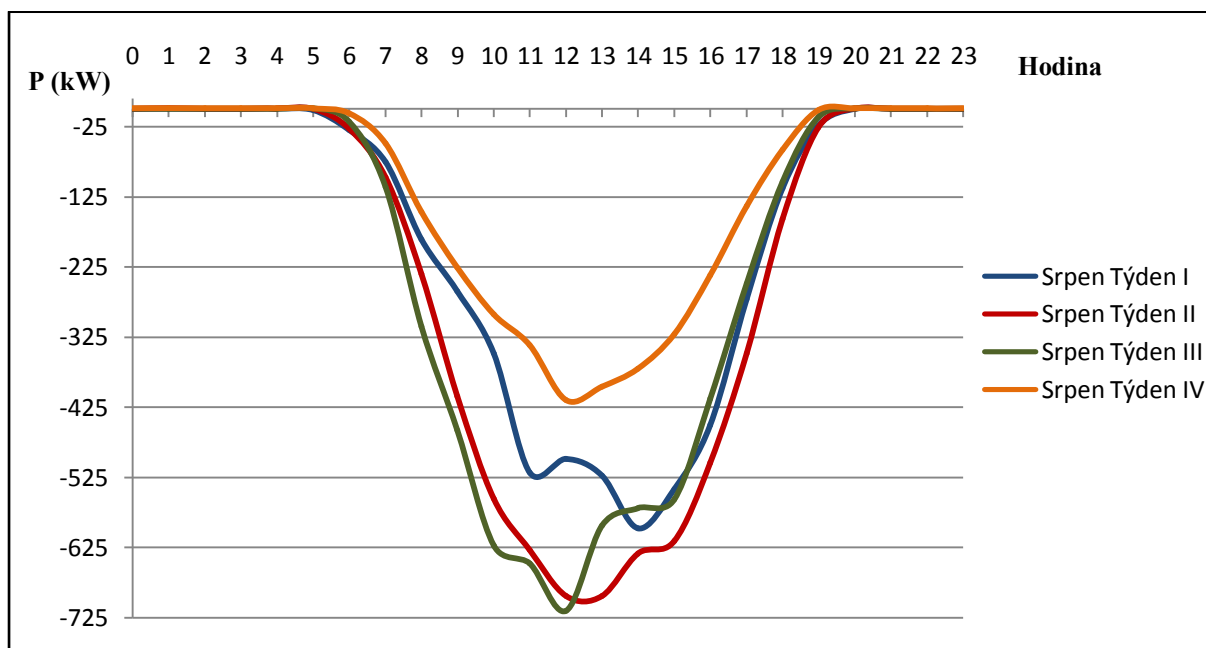
Obr. 36 - Kolísání činného a jalového výkonu v Srpnu 2010 [29]

Viz.: Obr. 36 - Kolísání činného a jalového výkonu v Srpnu 2010 [29] – Na obrázku je vidět, že zhruba do 16 dne v měsíci bylo slunečno a elektrárna dodávala výkon do sítě zhruba 3/4 svého instalovaného výkonu. U druhé poloviny měsíce Srpna je zřejmé, že bylo už nedostatek slunečných dnů. Maximální výkon, který FVE do sítě dodala, byl cca 0,762 MW 4.8. Nejmenší dodávka výkonu činila cca 0,22 MW 31.8.



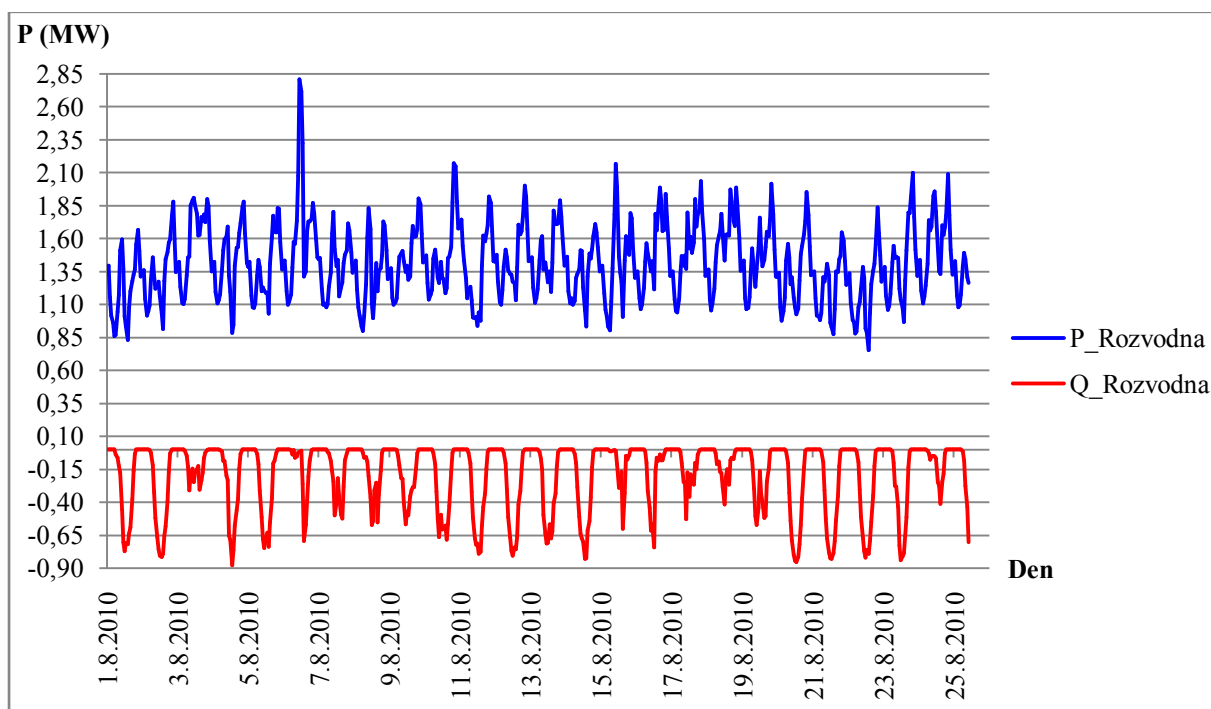
Obr. 37 - Koeficientu využití v Srpnu 2010 [29]

Viz.: Obr. 37 - Koeficientu využití v Srpnu 2010 [29] – Nejmenším koeficientem využití elektrárna disponovala 31. 8., kdy tento koeficient činil 2,2%. Naopak nevyšší koeficient využití dosáhla elektrárna 20.8. Tento koeficient činil 28,17%. Průměrná hodnota koeficientu za celý měsíc činila 17,30 %. Oproti Červenci je tedy jasné, že srpen byl, co se týká slunečnosti, jen nepatrně horší.



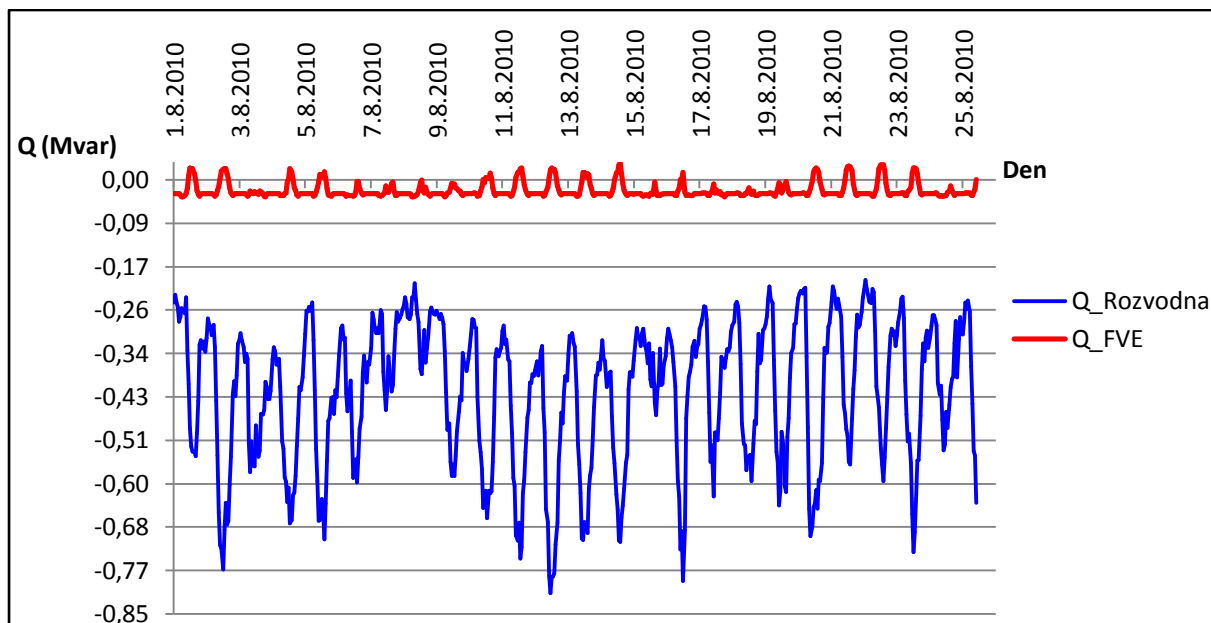
Obr. 38 – Křivky výkonů FVE za Srpen 2010 [29]

Viz.: Obr. 38 – Křivky výkonů FVE za Srpen2010 [29] – Nejhorším týdnem byl, tak jako v Červenci, týden čtvrtý, kdy měla elektrárna maximum ve 12:00 a dosahovala výkonu cca 415 kW. Naopak nejlepší týden byl třetí. Elektrárna dosáhla maximálního výkonu cca 715 kW, který dodávala do sítě. Bylo to v čase 12:00, tedy v poledne, kdy slunce svítilo nejostřeji. Dalším výborným týdnem byl týden druhý, kdy elektrárna dodávala maximum výkon kolem 13:00 výkon cca 694kW. První týden na tom byla elektrárna trochu hůře a maximální výkon, který FVE dodávala do sítě, bylo kolem 14:00 a to cca 597 kW.



Obr. 39 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Srpnu 2010 [29]

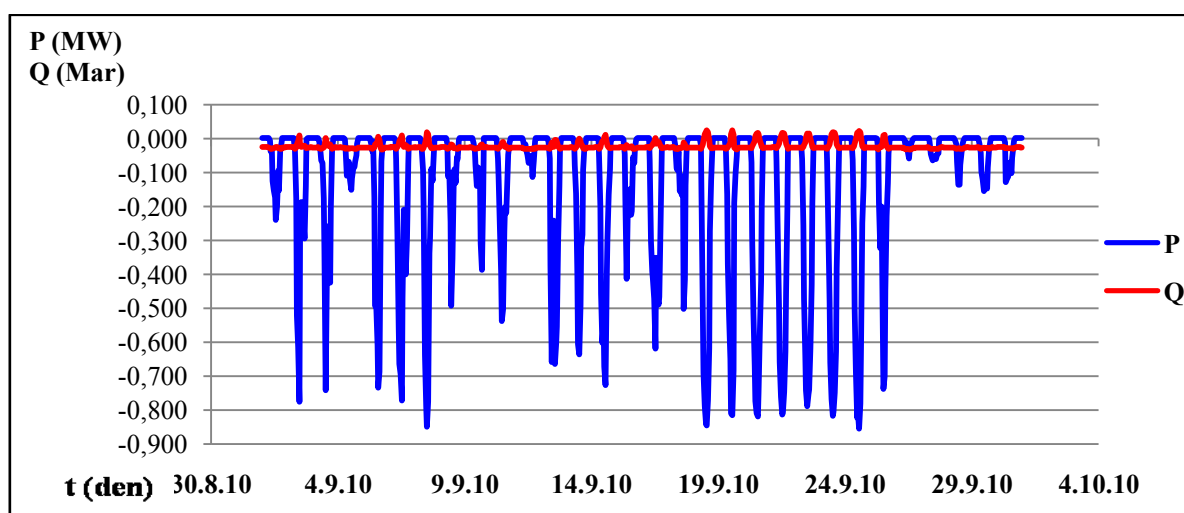
Viz.: Obr. 39 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Srpnu 2010 [29] – V Srpnu měla síť maximum v 2,81 MW 6 dne v 11:00. Elektrárna tou dobou do sítě dodávala 0,015 MW. Naopak maximální hodnoty výkonu, které fotovoltaická elektrárna dodávala do sítě byly 2. První maximální hodnota výkonu byla cca 0,877 MW 4.8. ve 13:00. Síť v tento den disponoval výkonem cca 1,3 MW. Druhá maximální hodnota výkonu byla cca 0,812MW 20.8. ve 14:00. Síť v tento den disponovala výkonem o hodnotě cca 1,07 MW.



Obr. 40 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q v Srpnu 2010 [29]

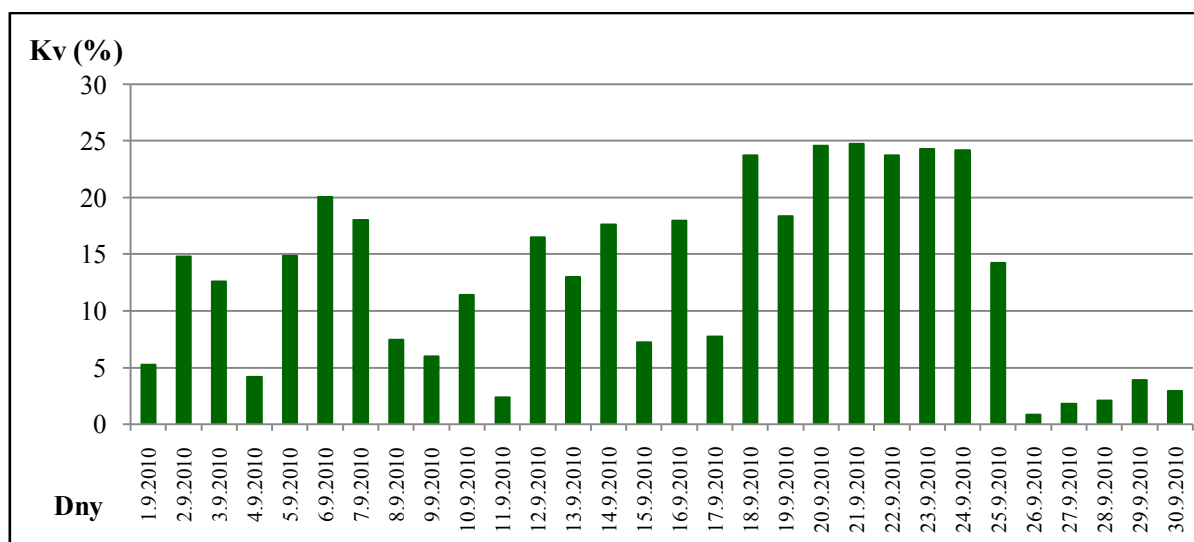
Viz.: Obr. 40 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q v Srpnu 2010 [29]
 – V srpnu byla maximální hodnota jalového výkonu v síti cca 0,81 Mvar 12 dne v 11:00. Fotovoltaická elektrárna dodávala do sítě nejvíce 0,033 Mvar 1.8. v 6:00. Vůči síti je to nepatrná dodávka výkonu. V tomto dni disponovala síť jalovým výkonem o hodnotě 0,25 Mvar.

5.4 Analýza kolísání činného a jalového výkonu Září 2010



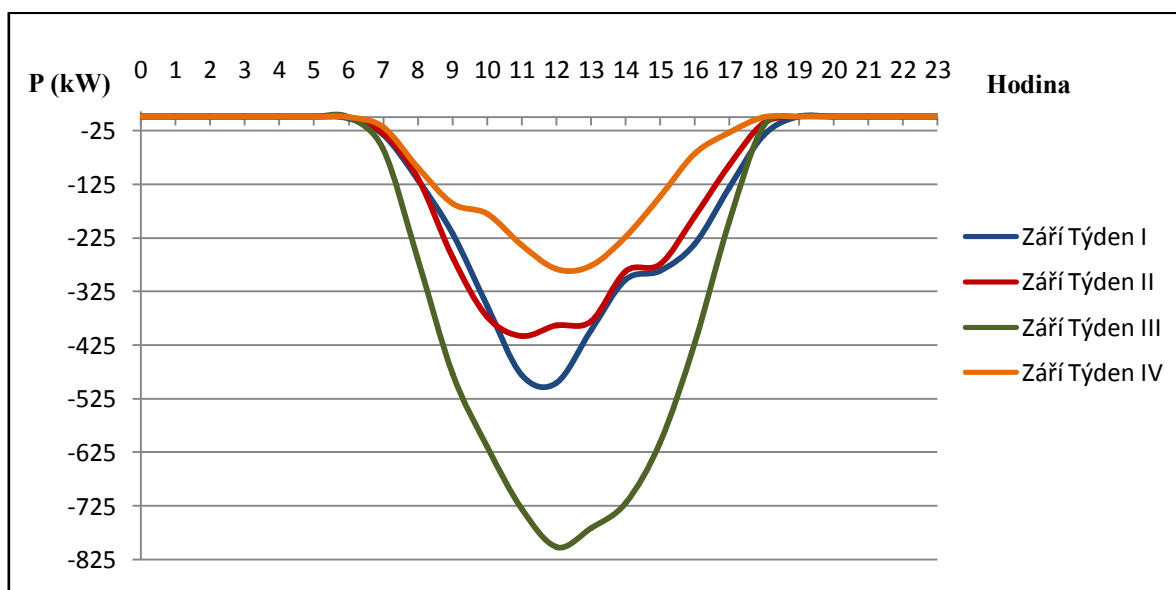
Obr. 41 - Kolísání činného a jalového výkonu v Září 2010 [29]

Viz.: Obr. 41 - Kolísání činného a jalového výkonu v Září 2010 [29] – V září bylo vcelku hodně slunečno a jak je vidět, tak elektrárna do sítě dodávala výkon cca 0,855 MW. Po 7dni dosáhla dodávka výkonu přes 0,8 MW. Zbývající dny činila dodávka výkonu od 0,1 MW do 0,7MW, takže na měsíc září byla dodávka výkonu vcelku slušná. Zhruba od 25 dne je vidět, že už bylo zataženo a dodávka výkonu nedosáhla ani ke 0,2MW, přičemž nejmenší dodávka výkonu činila 0,058 MW a to 26.9.



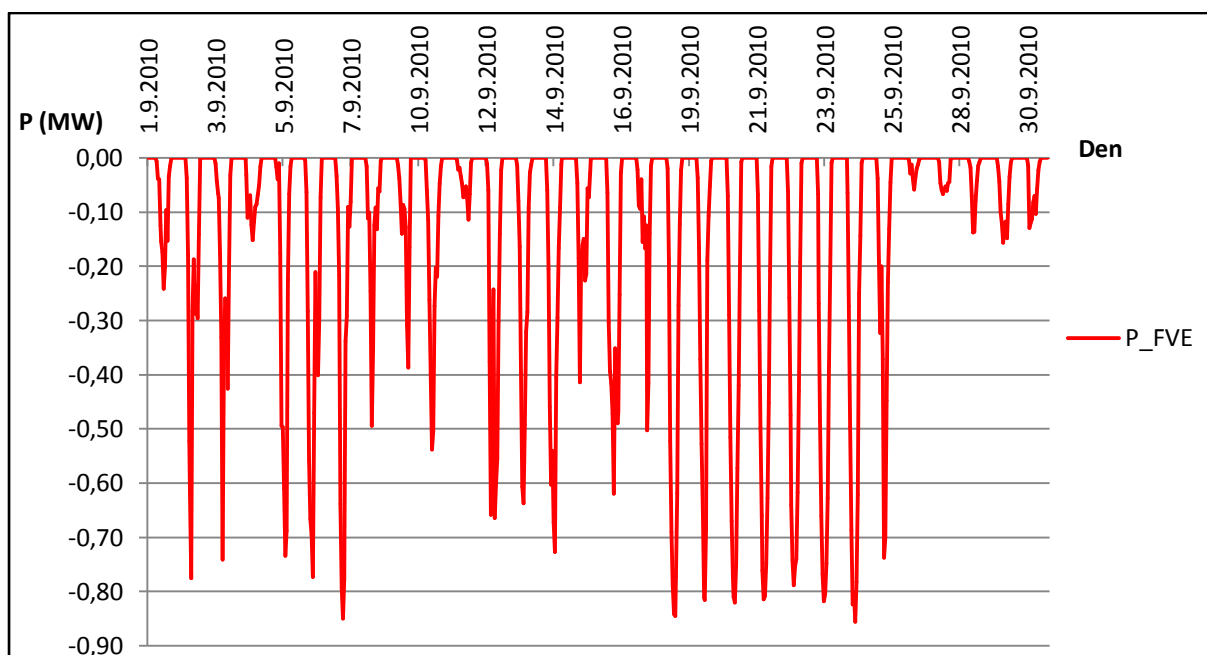
Obr. 42 - Koefficientu využití v Září 2010 [29]

Viz.: Obr. 42 - Koefficientu využití v Září 2010 [29] – Elektrárna disponovala v Září 2010 nevyšším koeficientem využití 21.9 %. Koefficient činil 24,7%. Nejnižšího koeficientu 0,85% dosáhla elektrárna 26.9. Průměrný koeficient využití za tento měsíc byl 12,82 %. V porovnání s Červencem byl koeficient využití poněkud větší. Znamená to, že svítilo slunce po větší část dne než v Červenci.



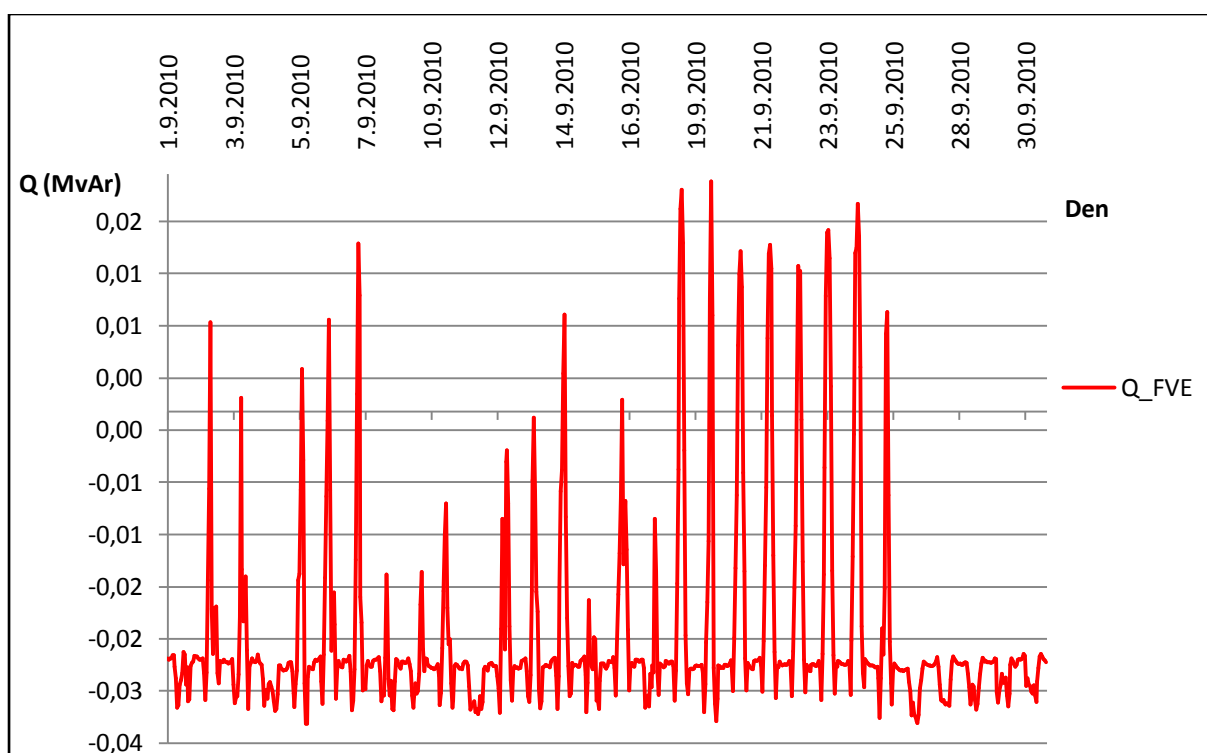
Obr. 43 - Křivky výkonů FVE za Září 2010 [29]

Viz.: Obr. 43 - Křivky výkonů FVE za Září 2010 [29] - V měsíci září dosahovala elektrárna maximálních hodnot výkonu, kterého dodávala do sítě mezi 11-13 hodinou, přičemž nejlepších hodnot dodávaného výkonu dosahoval týden třetí. Zde dosáhla elektrárna maximálního výkonu cca 801 kW. V prvním týdnu byla maximální hodnota výkonu cca 495 kW. Nejhorším týdnem byl v tomto měsíci týden čtvrtý, z čehož lze usuzovat, že bylo oblačno. Maximálního výkonu v tomto týdnu dosáhla FVE cca 283 kW.



Obr. 44 - Příspěvky činného výkonu od FVE v Září 2010 [29]

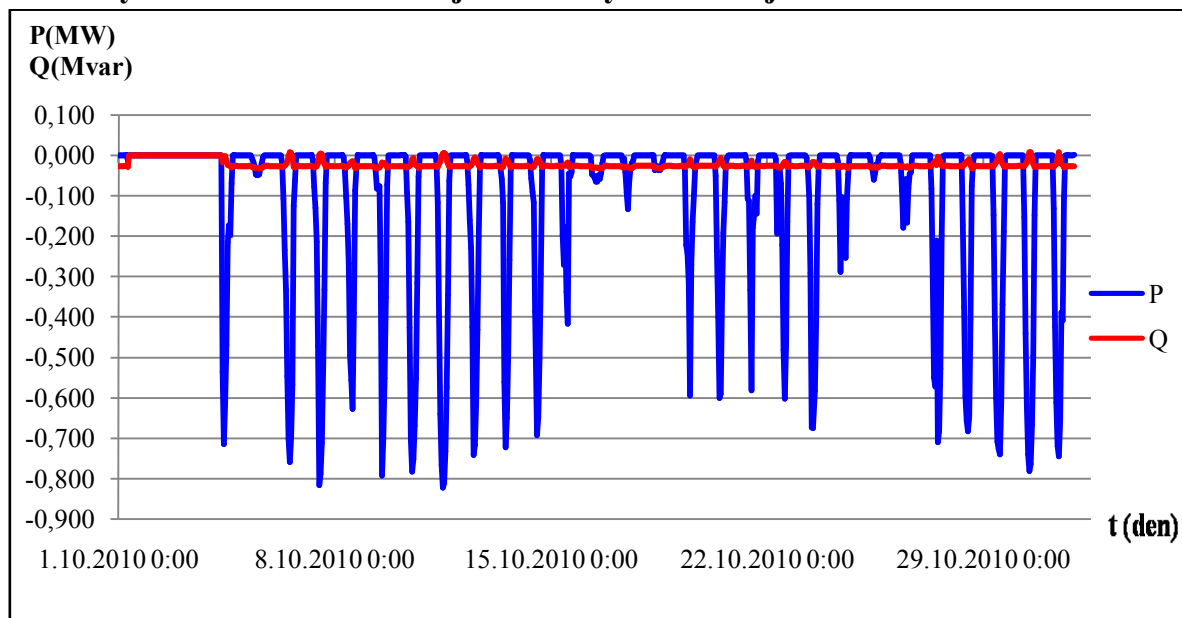
Viz.: Obr. 44 - Příspěvky činného výkonu od FVE v Září 2010 [29] – V září chybí data z rozvodny, tak je uveden pouze diagram zatížení fotovoltaické elektrárny. Z grafu je vidět, že elektrárna měla 3 nejvyšší maxima: první cca 0,849 MW 7.9. ve 12:00, druhé cca 0,845 MW 18.9. ve 13:00 a cca 0,855 MW 24.9. ve 13:00. Je vidět, že zhruba od 26 dne už elektrárna dodávala velmi málo. Lze z toho usuzovat, že bylo slunečního svitu oproti předchozím dnům podstatně méně. Na září, dle diagramu, dodávala elektrárna výkon do sítě velmi slušně.



Obr. 45 – Příspěvky jalového výkonu od FVE v Září 2010 [29]

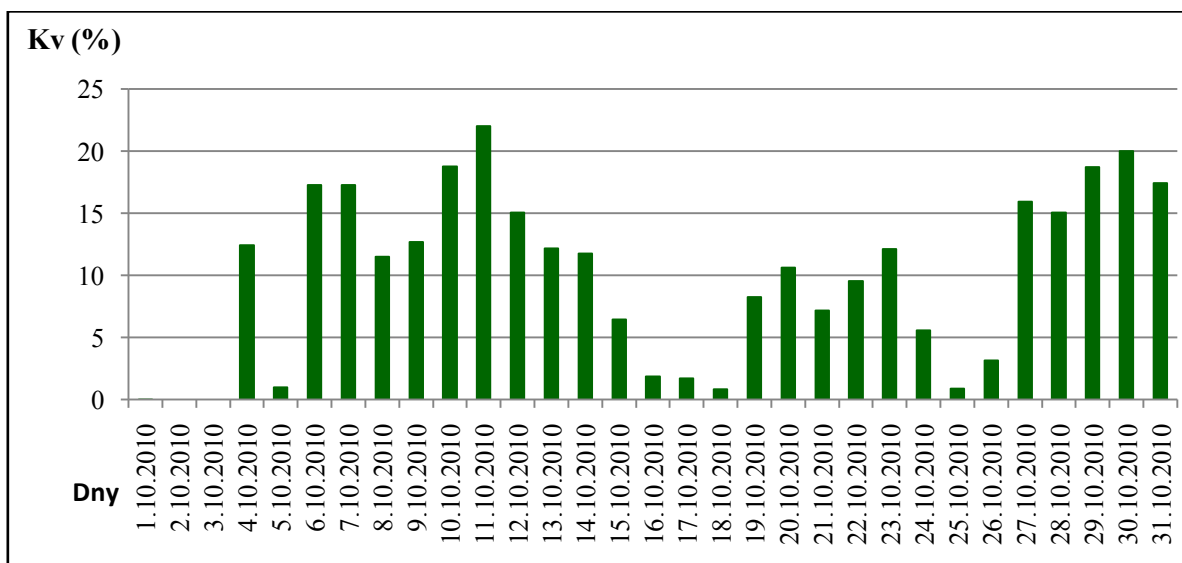
Viz.: Obr. 45 – Příspěvky jalového výkonu od FVE v Září 2010 [29]– Jelikož nejsou dostupná data pro výkon Q v síti, tak graf zobrazuje jen výkon Q pro fotovoltaickou elektrárnu. Diagram zatížení ukazuje, že maximální hodnota jalového výkonu, který fotovoltaická elektrárna dodávala do sítě, byla 0,033 Mvar 5.9. v 18:00. Další významnou maximální hodnotu jalového výkonu je cca 0,0326 Mvar 19 dne v 17:00.

5.5 Analýza kolísání činného a jalového výkonu v Říjnu 2010



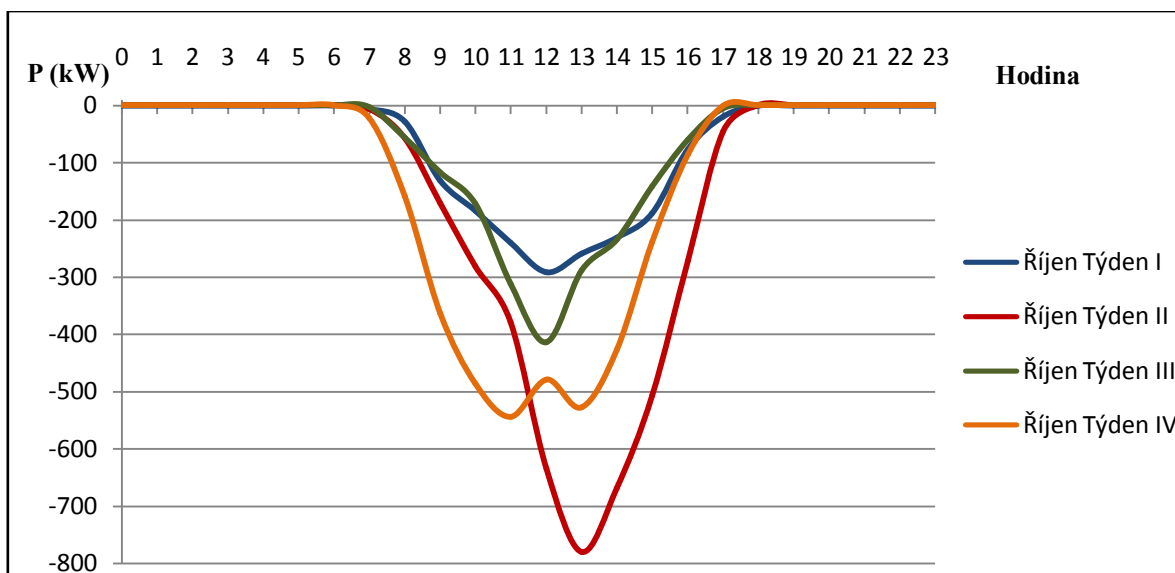
Obr. 46 - Kolísání činného a jalového výkonu v Říjnu 2010 [29]

Viz.: Obr. 46 - Kolísání činného a jalového výkonu v Říjnu 2010 [29] – Co se týká měsíce října, tak nejméně elektrárna dodávala výkon cca po 5dní. Hodnota dodávaného výkonu zde nepřesáhla ani 0,2 MW. Nejvyšší dodávaný výkon byl cca 0,823 MW a to 11. října. Nejmenší hodnota dodávaného výkonu do sítě byla 1. a 2. října 0 MW, kdy bylo zřejmě úplně zataženo.



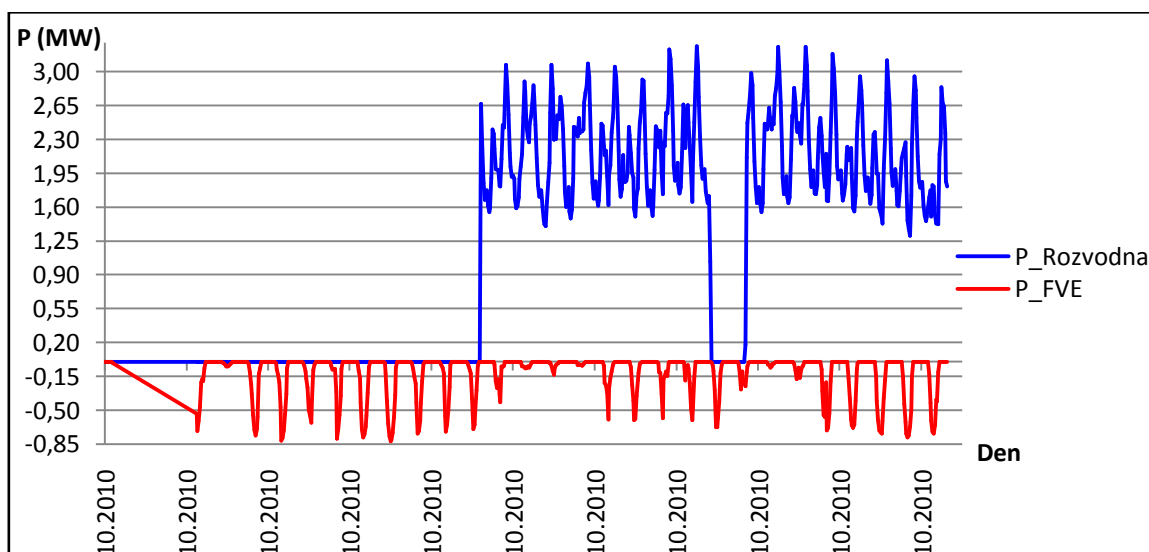
Obr. 47 - Koeficientu využití v Říjnu 2010 [29]

Viz.: Obr. 47 - Koeficientu využití v Říjnu 2010 [29] – Měsíc říjen disponoval nevyšším koeficientem využití cca 22% 11. dne. Naproti tomu nejmenší koeficient využití trval po dva dny, a sice 2. a 3. 10. hodnotu 0%, čili to znamenalo, že elektrárna nedodávala do sítě žádný výkon. Průměrný koeficient využití byl 10,61 %. Je tedy patrné, že slunečných dnů moc nebylo.



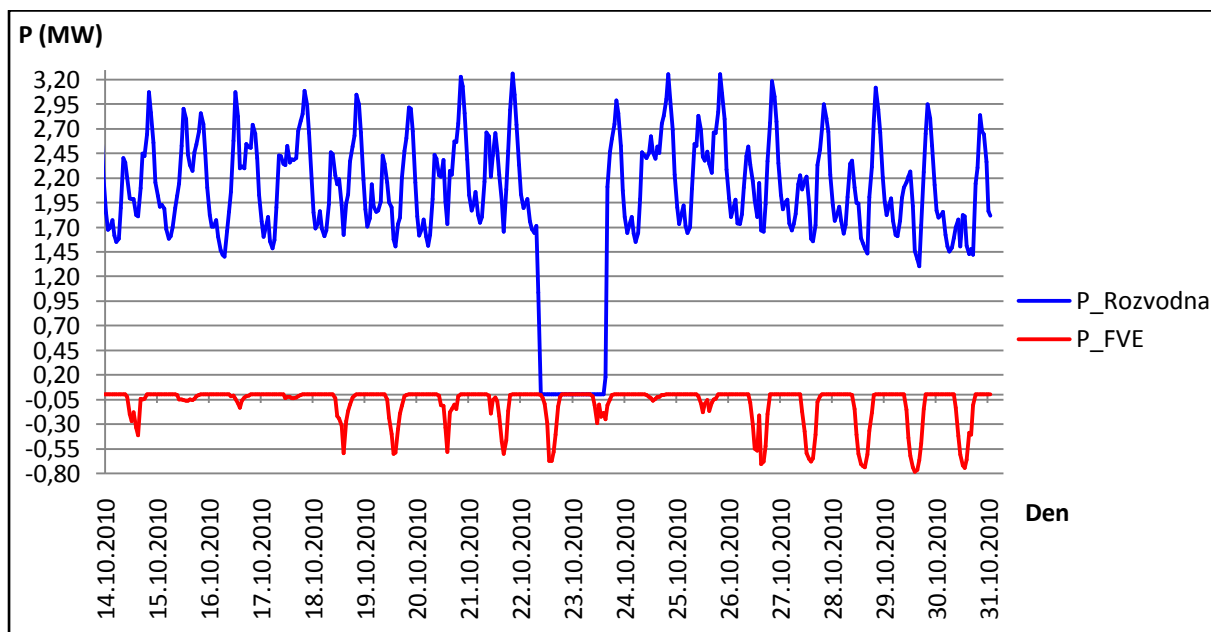
Obr. 48 - Křivky výkonů FVE za Říjen 2010 [29]

Viz.: Obr. 48 - Křivky výkonů FVE za Říjen 2010 [29] – Začátek Října, tedy první týden, byl zřejmě oblačný, protože elektrárna dosahovalo maximálního dodávaného výkonu pouze cca 291 kW a to kolem 12 hodiny. Druhý týden byl nejlepším týdnem. Zde se maxima dodávaného výkonu dostávají k hodnotě cca 780 kW, kterých bylo dosaženo kolem 13:00. Čtvrtý týden byl vcelku nestálý, zřejmě kvůli přítomnosti nějaké oblačnosti. To ostatně dokazuje graf, jenž má 2 maxima dodávaného výkonu. První maximum dodávaného výkonu je cca 544 kW kolem 11:00 a druhé maximum dodávaného výkonu je cca 527 kW. Výkyv mezi těmito hodnotami dodávaného výkonu ukazuje na nějakou oblačnost.



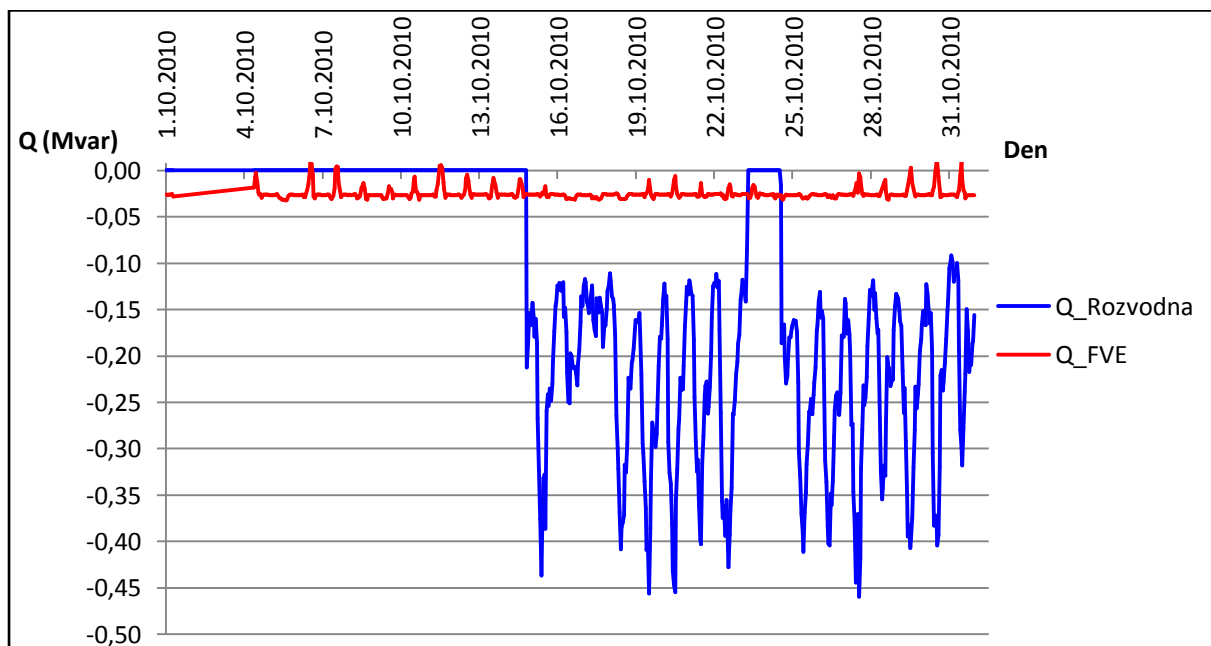
Obr. 49 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Říjnu 2010 [29]

Viz.: Obr. 49 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Říjnu 2010 [29] – Zhruba do 14 dne v měsíci chybí data z rozvodny. Viz.: Obr. 50 – Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Říjnu 2010 od 14. do 31. [29]



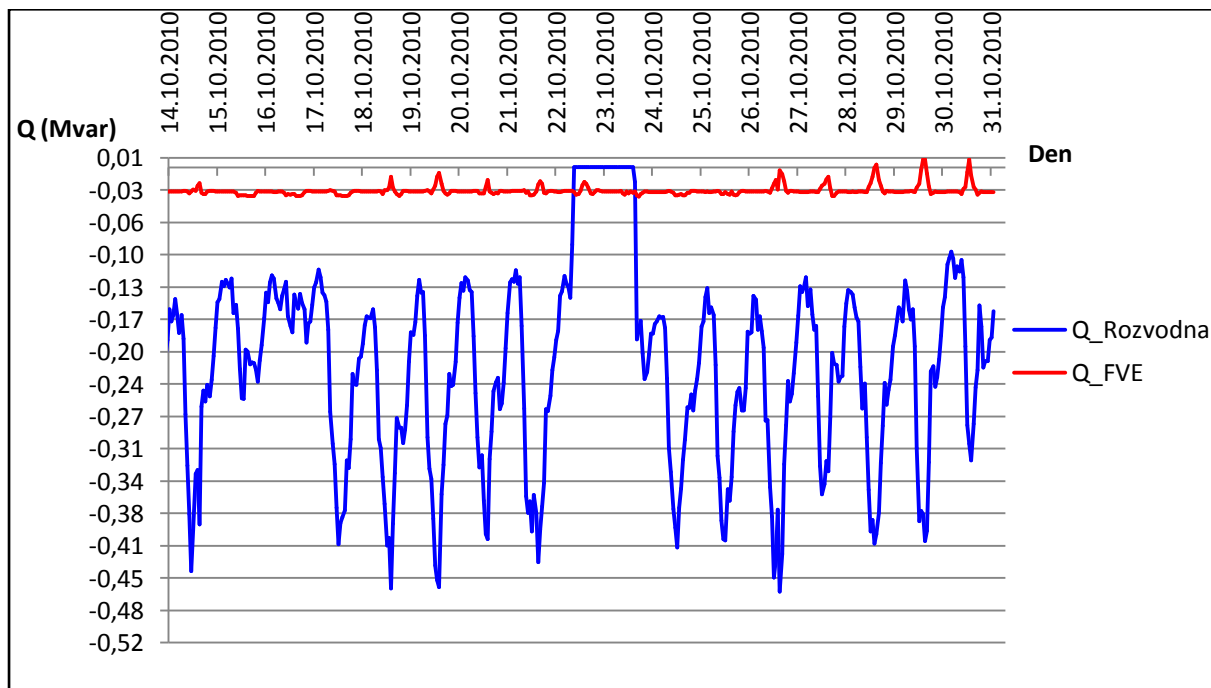
Obr. 50 – Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Říjnu 2010 od 14. do 31. [29]

Viz.: Obr. 50 – Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Říjnu 2010 od 14. do 31. [29] – Za všechny sledované měsíce v září síť disponovala nejvyšším výkonem. Maximum zde dosáhlo 3x hodnoty 3,26 MW a 1x hodnoty 3,23 MW. Bylo to v dny: 21, 22, 25, 26. Přičemž fotovoltaická elektrárna se podílela v tyto dny dodávkou 0,00064 MW, cca 0,00062 MW, 0,00065 MW a 0,00063 MW. V porovnání se sítí jsou to velmi malé hodnoty, téměř zanedbatelné. Dále mezi 23 dnem a 24 dnem nejsou data z rozvodny.



Obr. 51 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q v Říjnu 2010 [29]

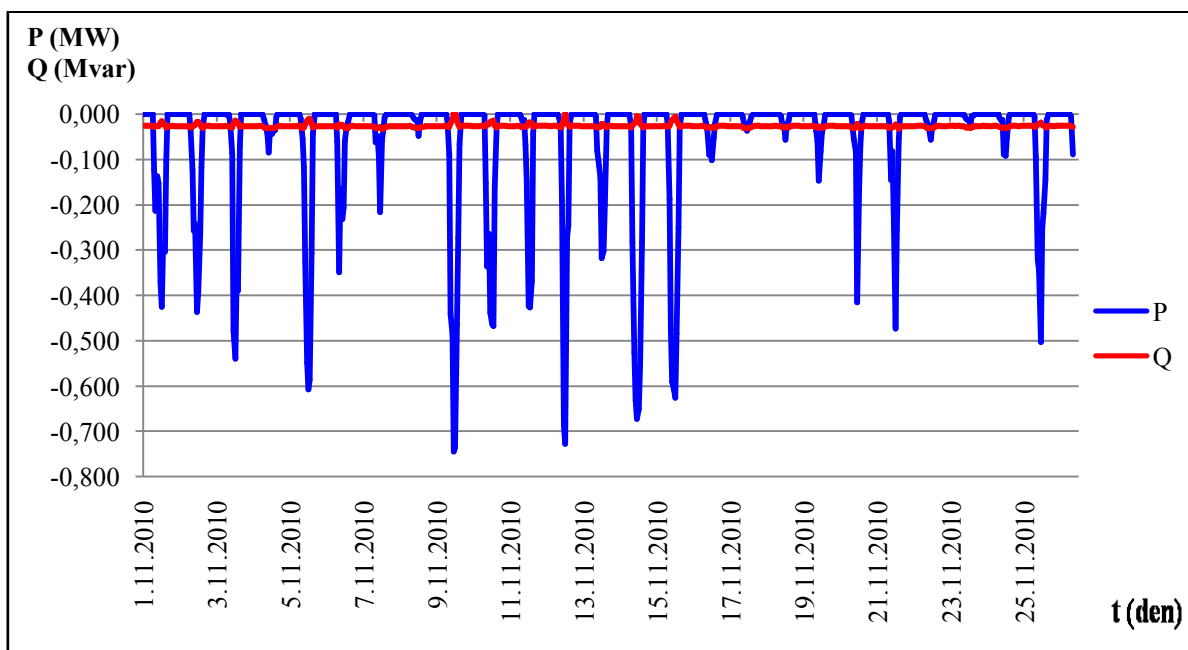
Viz.: Obr. 51 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q v Říjnu 2010 [29] – Zhruba do 14 dne v měsíci chybí data z rozvodny. Viz.: Obr. 52 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q od 14.10. - 31.10. 2010 [29].



Obr. 52 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q od 14.10. - 31.10. 2010 [29]

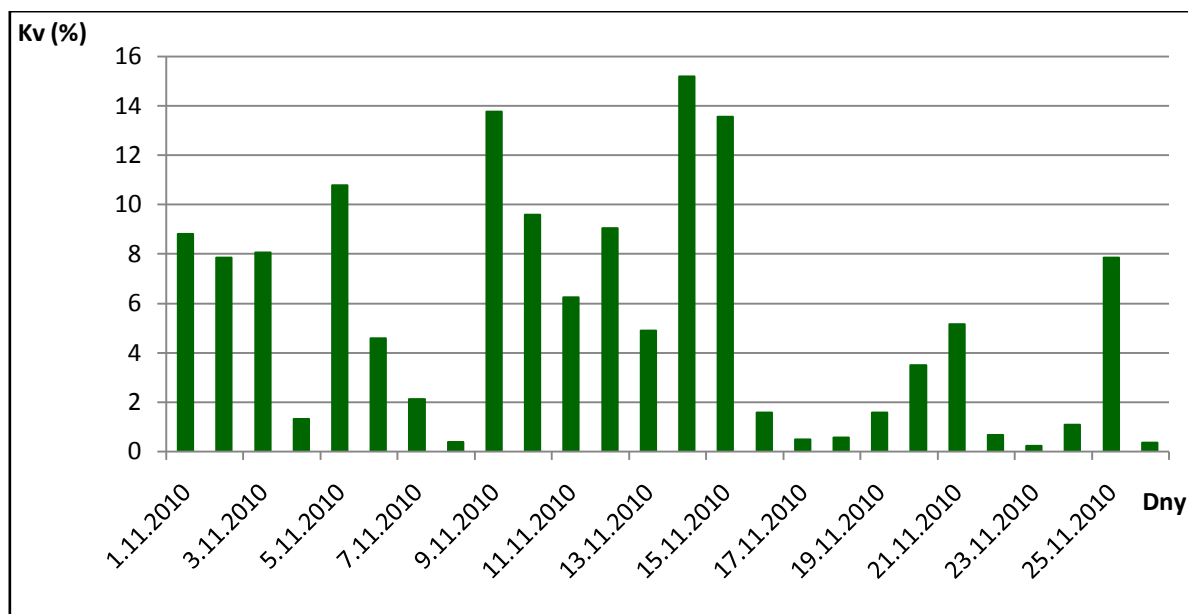
Viz.: Obr. 52 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q od 14.10. - 31.10. 2010 [29] – Z digramu zatížení je vidět že jalový výkon v síti v měsíci Říjnu hodně kolísal. Maximální hodnota jalového výkonu v síti byla cca 0,46 Mvar 19 dne a 27 dne. Minimální hodnota jalového výkonu v síti byla 0,09 Mvar. V porovnání minima a maxima je to docela velké kolísání. Je jasné, že v síti docházelo k odlehčení a tudíž nárůstu jalového výkonu. Fotovoltaická elektrárna dodávala oproti síti jen nepatrný jalový výkon o maximální hodnotě 0,031 Mvar 25.10. Jinak z grafu je vidět, že fotovoltaická elektrárna dodávala v průměru stejně cca 0,26 Mvar víceméně po celý měsíc.

5.6 Analýza kolísání činného a jalového výkonu v Listopadu 2010



Obr. 53 - Kolísání činného a jalového výkonu v Listopadu 2010 [29]

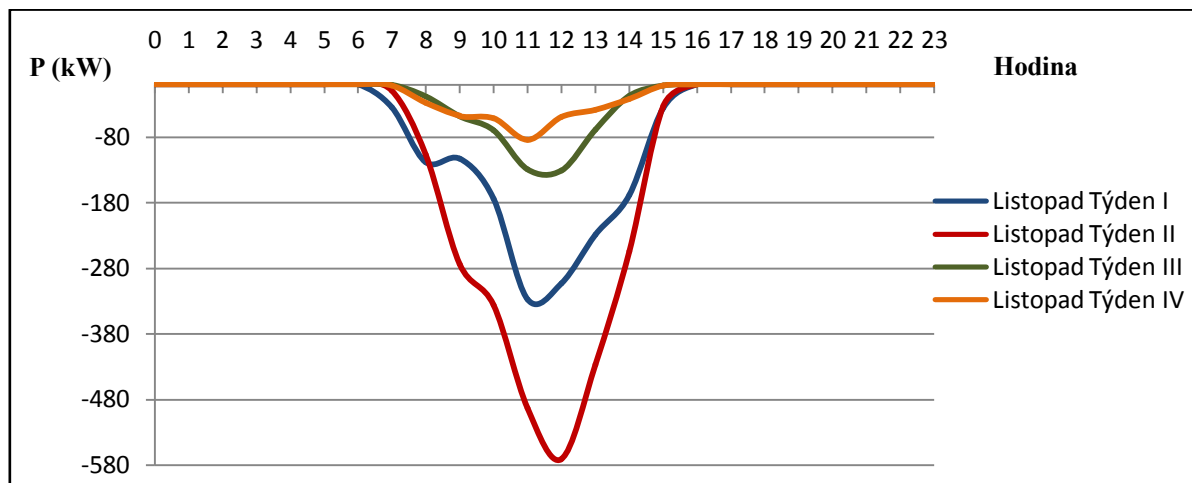
Viz.: Obr. 53 - Kolísání činného a jalového výkonu v Listopadu 2010 – V listopadu byla dodávka výkonu oproti ostatním měsícům podstatně horší. V devíti dnech nedosáhla dodávka výkonu ani k 0,1 MW. Naopak nevyšší dodávka výkonu byla cca 0,744 MW zhruba 9. listopadu. Jinak po zbývajících dny dodávka výkonu kolísala od 0,100 MW do 0,745 MW. Nejmenší dodávka výkonu byla cca 0,013 MW 23. listopadu. [29]



Obr. 54 - Koeficientu využití v Listopadu 2010 [29]

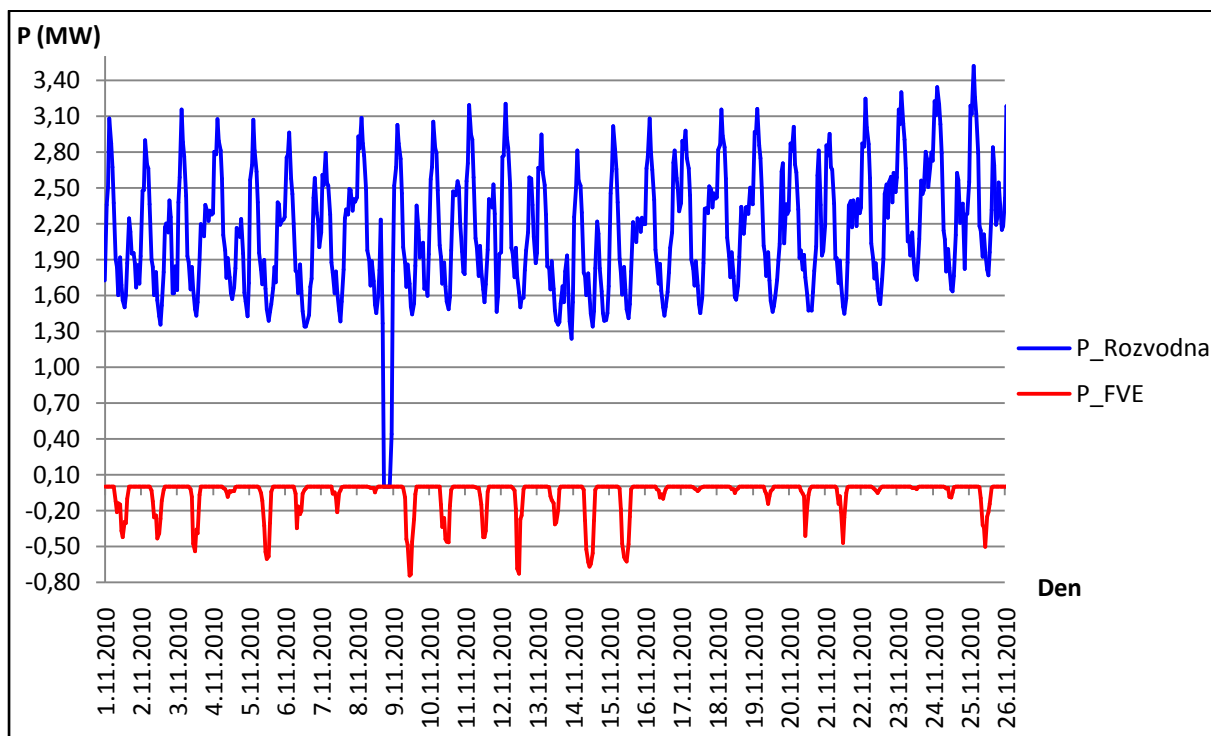
Viz.: Obr. 54 - Koeficientu využití v Listopadu 2010 [29] – Měsíc Listopad měl maximální hodnotu koeficientu využití 15,2% 14. dne. Nejmenším koeficientem využití disponovala elektrárna

23 dne a to 0,24%. Průměrná hodnota koeficientu využití činila 5,36 %. Je tedy jasné, že listopad byl už hodně zatažený a slunce svítilo jen velmi málo a po krátkou dobu.



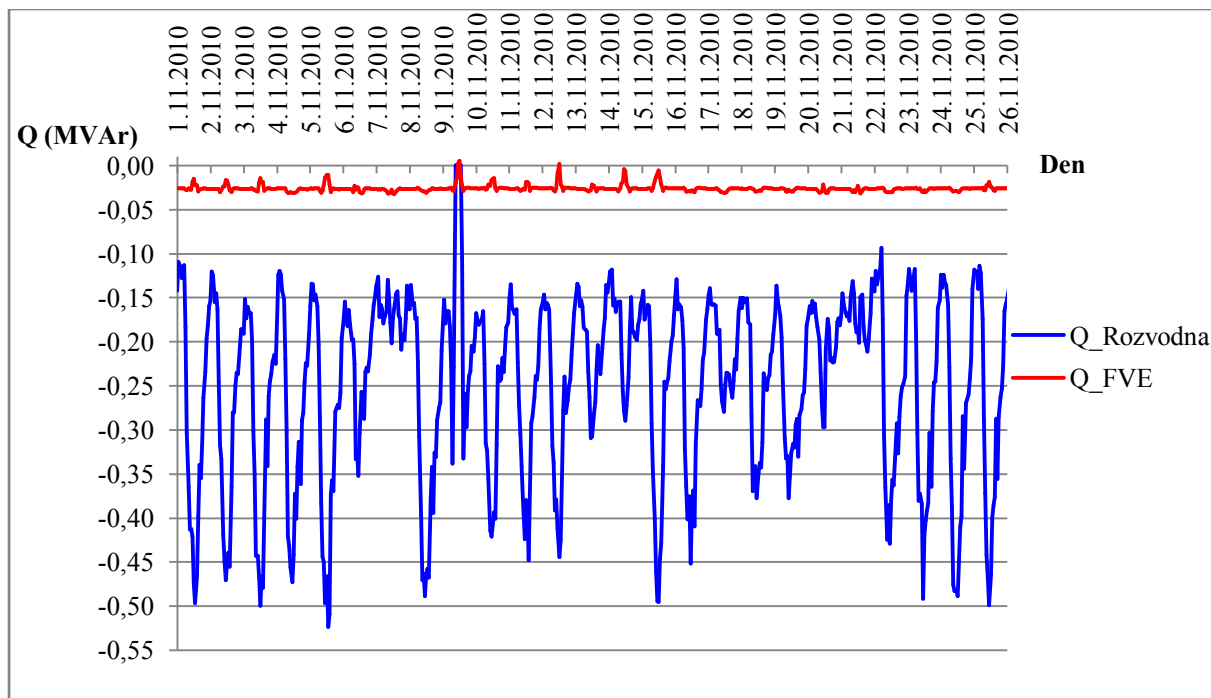
Obr. 55 - Křivky výkonů FVE za Listopad 2010 [29]

Viz.: Obr. 55 - Křivky výkonů FVE za Listopad 2010 [29] – Listopad byl nejhorším měsícem. Z grafu je vidět, že slunce vycházelo později a taky po většinu dne moc slunečno nebylo, což dokazují výkyvy u dodávky výkonu do sítě. Nejlepší hodnoty výkonů byly dosaženy v druhém týdnu. Maximálního výkonu v tomto týdnu bylo dosaženo kolem 12 hodiny a to na cca 570 kW. Zbývající týdny, čili první, třetí a čtvrtý už měly hodnoty horší. Nejhorší hodnoty měl týden čtvrtý. Maximální hodnoty bylo dosaženo kolem 11:00, ale jen na hodnotu cca 84kW. Časté výkyvy v jednotlivých týdnech dokazují, že bylo více oblačno nebo se naráz zatažlo.



Obr. 56 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Listopad 2010 [29]

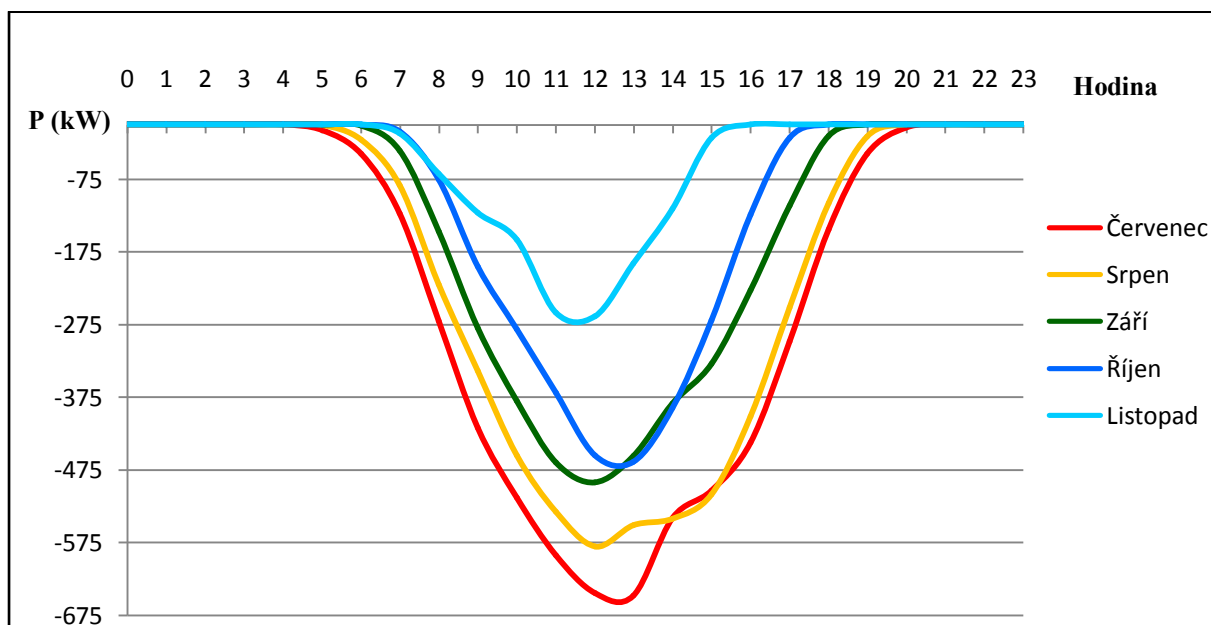
Viz.: Obr. 56 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Listopad 2010 [29] – Fotovoltaická elektrárna dodávala výkon do sítě za tento měsíc nejméně ze všech sledovaných měsíců. Naopak jak je vidět tak síť disponovala výkonem v průměru 2,1 MW. Maximální výkon v síti byl dosažen 25. 11. a to cca 3,5 MW. Elektrárna 25. 11. dodávala výkon do sítě 0M W. Naopak v minimum výkonu v síti bylo 13.11. a to cca 1,2 MW. Dne 8.11. od 18:00 do 22:00 nejsou dostupná data z rozvodny, proti je zde síť na nulovém výkonu.



Obr. 57 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro Q výkon v Listopadu 2010 [29]

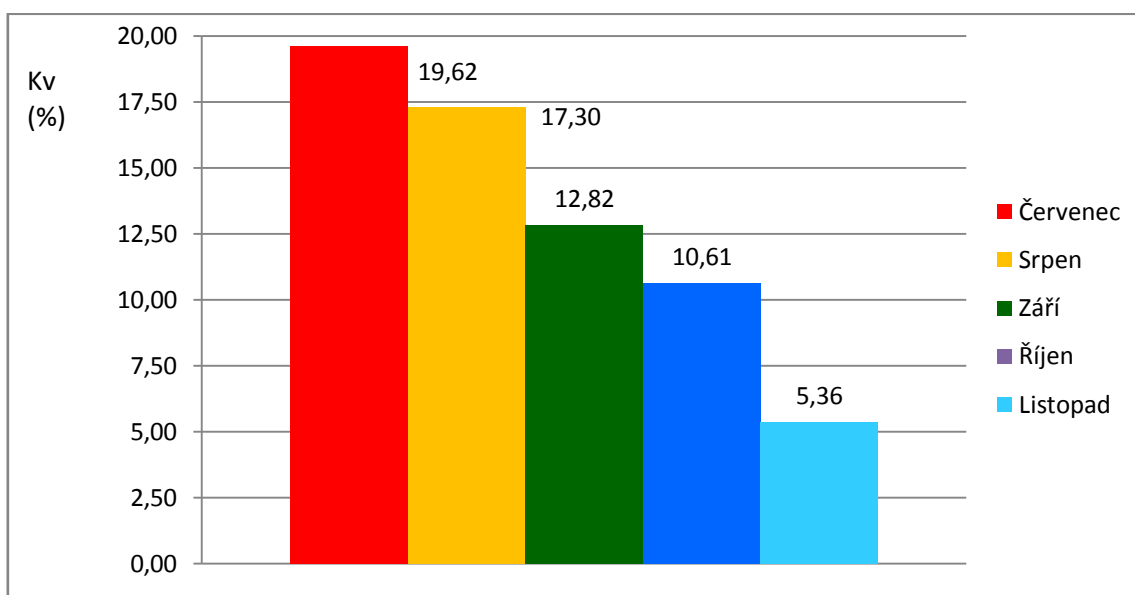
Viz.: Obr. 57 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro Q výkon v Listopadu 2010 [29] – Z diagramu je vidět rozdíly mezi jalovým výkonem v síti a dodávaným jalovým výkonem z fotovoltaické elektrárny, že je velký. Fotovoltaická elektrárna dodávala celý měsíc do sítě kolem 0,025 Mvar. Co se týká sítě tak z grafu je vidět značné kolísání jalového výkonu. Maximální hodnota jalového výkonu v síti byla 0,51 Mvar.

5.7. Porovnání a zhodnocení jednotlivých měsíců



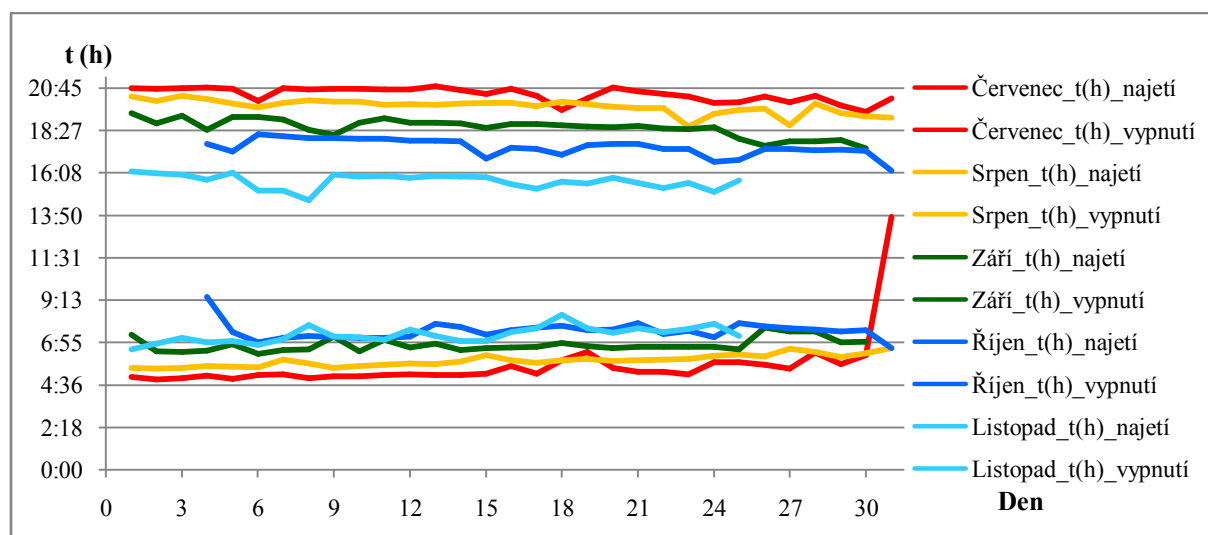
Obr. 58 - Křivky výkonů FVE za sledované měsíce [29]

Viz.: Obr. 58 - Křivky výkonů FVE za sledované měsíce [29] – Z obrázku je vidět, že nejlepších průměrných hodnot výkonů dosahoval červenec. Maximální průměrná hodnota dodávaného výkonu činila cca 648kW a bylo jí dosahováno přibližně kolem 13:00. V srpnu dosáhla FVE maximálního dodávaného výkonu kolem 12:00 a to na průměrnou hodnotu cca 580 kW. Září dosáhlo průměrné hodnoty dodávaného výkonu cca 492kW kolem 12:00. Měsíc říjen byl na tom podobně jako září. Průměrné maximální hodnoty výkonu dodávaného do sítě dosáhl kolem 13:00 hodnotou cca 464 kW. Nejhorším měsícem byl Listopad. Zde průměrné maximální hodnoty výkonu dodávaného do sítě dosahovali cca 263 kW kolem 12:00.



Obr. 59 - Průměrné koeficienty využití za sledované měsíce roku 2010 [29]

Viz.: Obr. 59 - Průměrné koeficienty využití za sledované měsíce roku 2010[29] – Z grafu je vidět, že nejvyššího koeficientu využití dosahoval měsíc červenec. V tomto měsíci dosáhl koeficient využití 19,62%. Naopak nejhorší hodnoty koeficientu využití dosáhl měsíc listopad. Zde činila dosažená průměrná hodnota koeficientu využití 5,36%. Z této hodnoty lze usuzovat, že v listopadu už svítilo slunce jen velmi málo a bylo po většinu dní zataženo. Srpen dosáhl hodnoty 17,30 % koeficientu využití, Září 12,82 % a Říjen 10,61 %.



Obr. 60 – Graf najetí a vypnutí FVE za sledované měsíce 2010 - náhled[29]

Viz.: Obr. 60 – Graf najetí a vypnutí FVE za sledované měsíce 2010 - náhled[29] (větší obrázek viz příloha Obr. 67 – Graf najetí a vypnutí FVE za sledované měsíce roku 2010 [29]) – Z obrázku je vidět, že v Červnu 2010 začínala fotovoltaická elektrárna dodávat do sítě už od cca 5:00 a nejpozdější najetí bylo ve 13:45 31 dne což naznačuje, že bylo od rána zataženo. V Srpnu začala elektrárna nejdříve najíždět v 5:33 1 dne a nejpozdější najetí elektrárny bylo 6:37 31 dne. V Září začala elektrárna dodávat nejdříve od 6:18 6 dne a nejpozději od cca od 7:45 26 dne. V Říjnu byla nejpozdější doba najetí cca 9:25a to 4 dne, jinak nejdříve bylo od cca 6:37. V listopadu začala elektrárna najíždět nejdříve od cca 6:33 1 dne, ale po zbytek měsíce elektrárna už najížděla od 7:00 a nejpozdější doba najetí byla 18 dne v 8:27.

Co se týká dob vypnutí fotovoltaické elektrárny, tak z obrázku je vidět, že nejpozdější doby vypnutí měl červen, zde nejpozdější doba vypnutí byla 1-5 dne, 7-10 dne, 16 dne a 20 dne cca v 20:45.

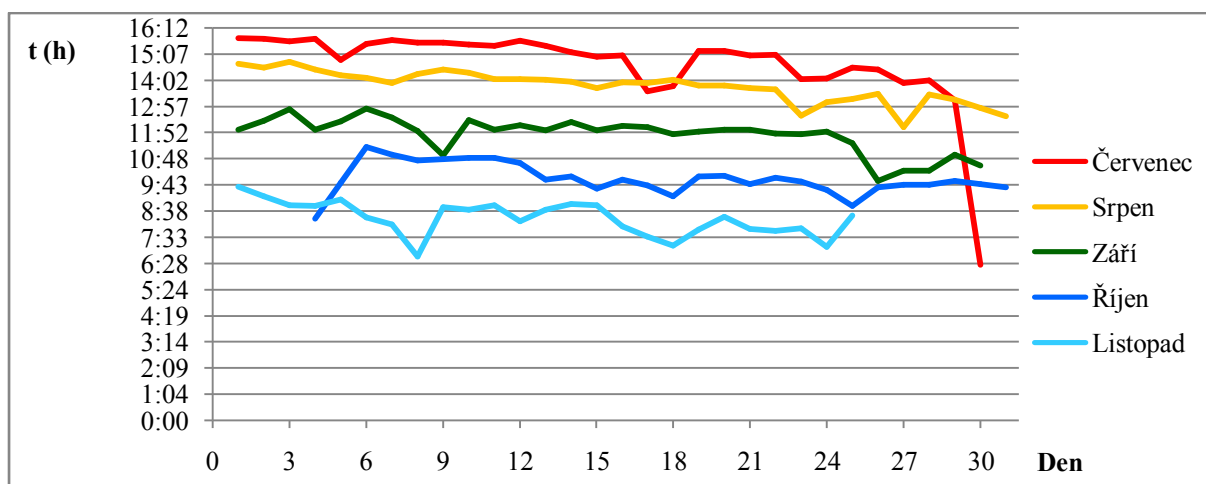
Srpen měl nejpozdější doby vypnutí elektrárny 3 dne ve 20:20, 8 dne ve 20:05, 18 dne ve 20:02 a v 19:54 28 dne.

Září mělo nejpozdější doby vypnutí 1 dne v 19:23, 3 dne v 19:15 a 11 dne v 19:06.

V říjnu se elektrárna vypínala nejpozději 6 dne v 18:14, naopak nejdříve elektrárna začala dodávat 31 dne v 16:15.

Listopad měl nejhorší doby vypnutí za všechny sledované měsíce. Nejpozději přestala elektrárna dodávat 1 dne v 16:13 a nejdříve 8 dne ve 14:39.

Z obrázku je tedy vidět, že dodávka výkonu z fotovoltaické elektrárny velmi závisí na slunci, ročním období a měsíci.



Obr. 61 – Celkové doby dodávky FVE za sledované měsíce 2010 – náhled [29]

Viz.: Obr. 61 – Celkové doby dodávky FVE za sledované měsíce 2010 – náhled [29] (větší obrázek viz příloha Obr.68 - Celkové doby dodávky FVE za sledované měsíce 2010 [29]) – Z grafu je vidět, že nejdelší dobu dodávky měl červenec. Nejdéle tedy elektrárna v červenci dodávala výkon 15 hodin a 48 minut 2 dne, nejkratší délka dodávky v tomto měsíci byla 6 hodin 26 minut 31 dne. Průměrně dodávala elektrárna 14 hodin 13 minut.

V srpnu dodávala elektrárna nejdéle 14 hodin a 48 minut 3 dne, naopak nejkratší dodávka trvala 12 hodin a 7 minut 27 dne. V průměru za srpen tedy dodávala elektrárna 13 hodin 48 minut.

V září měla elektrárna nejdelší dobu dodávky 12 hodin a 53 minut 6 dne, nejkratší dodávka probíhala 9 hodin 53 minut 26 dne. V průměru tedy elektrárna dodávala 11 hodin 25 minut.

V říjnu byla nejdelší dodávka 11 hodin 17 minut 6 dne, nejkratší dodávka byla 8 hodin 20 minut. Průměrně tedy za říjen elektrárna dodávala do sítě 10 hodin.

Listopad byl délkou dodávky nejhorším měsícem. Nejdelší dodávka trvala 9 hodin 40 minut 1 dne a nejkratší dodávka 6 hodin 46 minut 8 dne. Průměrná doba dodávky zde činila cca 8 hodin.

Pozn.: pro další vyhodnocení je potřeba si objasnit základní pojmy ze statistiky.

Histogram je klasickým grafem, v němž na jednu osu vynášíme varianty proměnné a na druhou osu jejich četnosti. Jednotlivé hodnoty četnosti jsou pak zobrazeny jako sloupce (obdélníky, popř. úsečky, hranoly, kužely...)

Paretův graf je tvořen spojením histogramu a polygonu kumulativních četností. Na vodorovné ose má jednotlivé varianty od té největší po tu nejmenší (významově)

Medián je hodnota, jež dělí řadu podle velikosti seřazených výsledků na dvě stejně početné poloviny. Ve statistice patří mezi míry centrální tendence. Platí, že nejméně 50 % hodnot je menších nebo rovných a nejméně 50 % hodnot je větších nebo rovných mediánu. Pro nalezení mediánu daného souboru stačí hodnoty seřadit podle velikosti a vzít hodnotu, která se nalézá uprostřed seznamu. Pokud má soubor sudý počet prvků, obvykle se za medián označuje aritmetický průměr hodnot na místech $n/2$ a $n/2+1$.

Četnost je počet výskytů n_i hodnoty x_i . Rozlišujeme ještě poměrnou a relativní četnost.

$$\frac{n_i}{n} \quad (9)$$

Vztah číslo 9 je vztah pro poměrnou četnost. Přičemž:

$$n = \sum_K n_K \quad (10)$$

Kumul. % = Kumulativní četnost a je to součet četností všech pozorování, která nepřevyšují hodnotu x_i , označujeme jako kumulativní četnost pozorování x_i . Veličina je udávána v %.

Třídy: Při velkém rozsahu n náhodného výběru rozdělujeme hodnoty do tzv. tříd. Celý obor hodnot je pak rozdělen na třídní intervaly, přičemž daná pozorovaná hodnota spadá vždy do jedné třídy. Počet tříd lze volit podle potřeby. Obvykle se pohybujeme mezi 5 a 20 třídami, nebo se volíme:

$$k \approx \sqrt{n} \quad (11)$$

nebo se použije tzv. Sturgesovo pravidlo:

$$k \approx 1 + 3,3 \log n \quad (12)$$

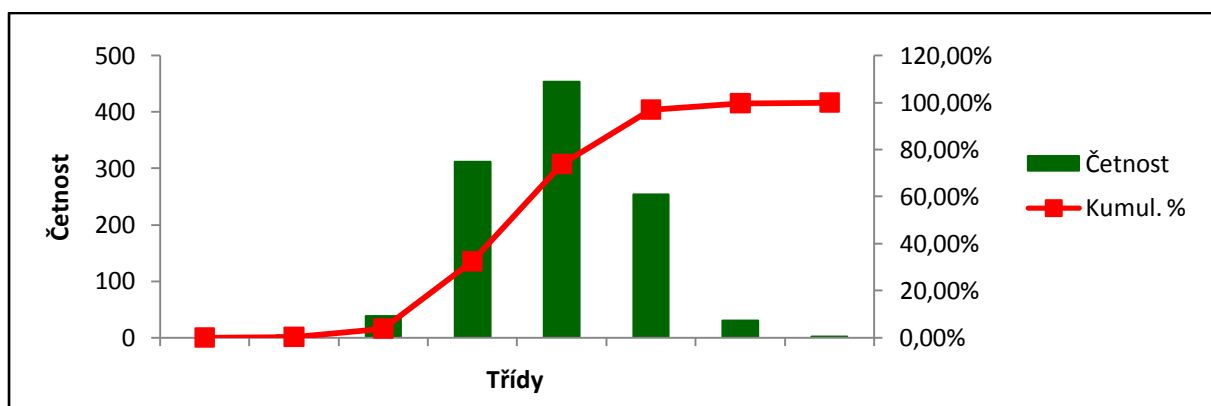
k ... počet tříd

[28]

Tab. 4 – Popisná statistika činného výkonu od 1.7. do 26.11. 2010 [29]

P_1_avg		P_2_avg	
Střední hodnota	-45922,232	Střední hodnota	-46037,59496
Medián	-42,274	Medián	-313,6318333
Minimum	-293652,820	Minimum	-292382,95
Maximum	860,733	Maximum	1411,145445
Součet	-160498199,928	Součet	-160901394,4
Počet	3495,000	Počet	3495

P_3_avg		P_T_avg	
Střední hodnota	-45752,60638	Střední hodnota	-137712,433
Medián	-188,6366574	Medián	-509,3845433
Minimum	-291494,7567	Minimum	-877530,5283
Maximum	300,7519067	Maximum	1927,044452
Součet	-159905359,3	Součet	-481304953,4
Počet	3495	Počet	3495

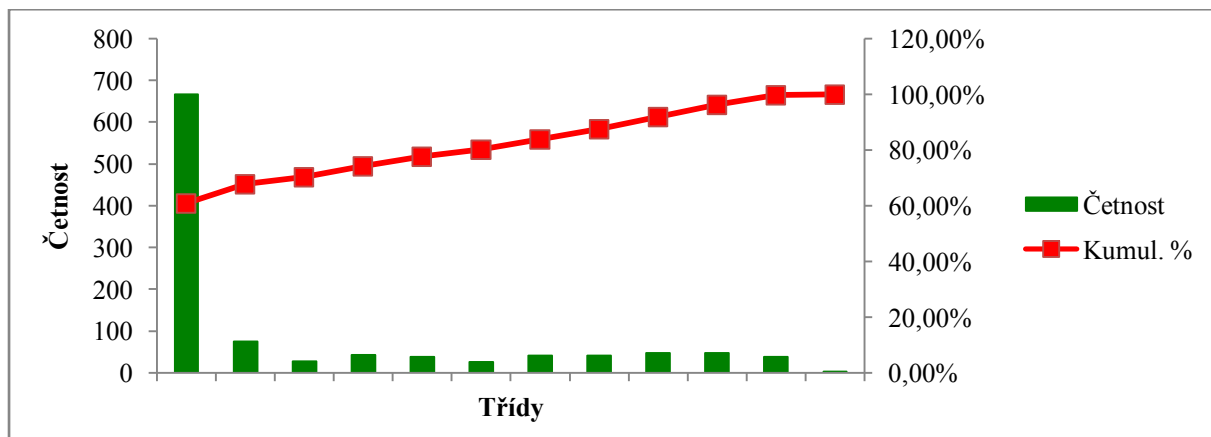


Obr. 62 - Paretův graf pro výkon P [29]

Tab. 5 - Popisná statistika jalového výkonu od 1.7. do 26.11. 2010 [29]

Q_1_avg		Q_2_avg	
Stř. hodnota	-7307,403074	Stř. hodnota	-7454,364299
Chyba stř. hodnoty	69,24022782	Chyba stř. hodnoty	73,36392277
Medián	-8577,2435	Medián	-8967,414633
Minimum	-10987,05367	Minimum	-11373,72567
Maximum	11575,82667	Maximum	11730,56917
Součet	-25539373,74	Součet	-26053003,22
Počet	3495	Počet	3495

Q_3_avg		Q_T_avg	
Stř. hodnota	-8099,475619	Stř. hodnota	-22861,2427
Chyba stř. hodnoty	56,17671932	Chyba stř. hodnoty	196,8090466
Medián	-8988,529	Medián	-26520,29083
Minimum	-11418,3075	Minimum	-33779,08733
Maximum	9801,401833	Maximum	32937,89
Součet	-28307667,29	Součet	-79900043,23
Počet	3495	Počet	3495



Obr. 63 - Paretův graf pro výkon Q [29]

6. Závěr

Získávání energie z větru je obnovitelným zdrojem energie. Je to energie zcela závislá na rychlosti větru a zvolené lokalitě. Budují se jak samostatné elektrárny pro domácí potřebu o jednom stožáru s vrtulí, tak velké soustavy elektráren. V České Republice již vesměs není, kde stavět, tak se větrné elektrárny nestavějí. Navíc náklady na výstavbu jsou velmi vysoké a díky účinnosti větrných elektráren je návratnost dlouhá. Co se týká zahraničí, tak nejlépe vhodné pro stavbu jsou přímořské státy jako Dánsko, Finsko, Norsko, Švédsko, ale i Německo. U těchto států se výroba energie z větru rozšířila. Jak už bylo zmíněno, tak díky závislosti větrných elektráren na větru, je tento zdroj velmi nestálý.

Větrná energetika sice nevyžaduje nějakou zvýšenou potřebu záložní energie, ale jedinou potřebou je minutová a hodinová záloha. Tzn., že musí být k dispozici nějaký regulační výkon pro korekci úplného výpadku větrné elektrárny nebo neustálých výkyvů způsobených právě závislostí na větrných podmínkách. Takovou zálohu vesměs vytvářejí uhelné elektrárny. Všeobecně vzato je záložní energie potřeba vždy. Jelikož se větrné elektrárny budují na odlehlých místech je nutno stavět neustále nová potrubí pro přenos energie s dostatečnou kapacitou. S tímto budováním souvisí akumulace energie, která by ušetřila náklady a byla by v případě potřeby k dispozici nebo pro plynulou dodávku do sítě. Akumulační systémy s přidružením na síť by měly mít dostatečný okamžitý výkon, dostatečnou rychlost rozběhu neboli reakce na změnu. Tzn., že řada těchto akumulačních systémů bude doplněna další nízko energeticky náročná zařízení, kvůli rozběhu. Energii může například akumulovat do vody. K tomu je potřeba přečerpávací vodní elektrárna. Další možnost je skladovat energii ve stlačeném plynu pro pozdější použití. Uvedené způsoby nejsou pro naši republiku moc vhodné. Vhodnější hromadění je do tzv. flow baterií nebo do vodíkových systémů.

Mnohem výhodnějším zdrojem energie, i když jak se to vezme, je získávání energie ze slunce. V posledních dvou až třech letech nastal u nás největší rozmach výstavby fotovoltaických elektráren. Na jednu stranu je to ekologický zdroj, ale na druhou stranu nikdo nepřemýšlí už dopředu, jak to bude vypadat za těch 15-25 let jak začne docházet životnost u tohoto zdroje energie. Ona totiž samotná likvidace solárních panelů je velmi těžká a náročná jak ekonomicky, tak energeticky. Průzkumy totiž ukazují, že přibližná částka na likvidaci jednoho panelu je tisíc korun. U nás nejsou zatím s likvidací těchto fotovoltaických polí zkušenosti. Další stránkou věci fotovoltaických elektráren je jejich účinnost a samotná dodávka energie do sítě. Z grafů jenž jsou uvedeny výše v kapitole páté je jasné, že dodávka fotovoltaické elektrárny nepokryje ani základní potřebu dodávky. Vesměs dodaný výkon je tak malý, že lze skoro zanedbat. Navíc, každá fotovoltaická elektrárna je závislá hlavně na slunci. Dalšími závislostmi je počasí a sním oblačnost či zataženo, závislost na ročním období. Je totiž zcela zřejmé, i z výše uvedených grafů, že nejvíce vyrobené a dodané energie do sítě bylo, je a bude v pozdních jarních a letních měsících. Naopak nejhorší dodávka nebo prakticky žádná dodávka energie do sítě bude v podzimních a zimních měsících. Naštěstí tento velký boom ve výstavbě velkých i malých fotovoltaických polí od prvního dne tohoto roku byl zastaven. Elektrárny, které byly postaveny do konce roku 2010, mohly být ještě připojeny do sítě. Co se týká samotného připojování fotovoltaických elektráren do sítě, tak dodávka je nestálá a zcela závislá na slunci. Navíc při najetí elektrárny dochází ke kolísání napětí v síti, nárůst činného výkonu v síti, i když jen nepatrného, a díky měničům i dodávky jalového výkonu v síti, i když ve srovnání se sítí opět nepatrné hodnoty.

Jenže všechno má svůj důsledek. Tyto výkyvy při najetí musí být regulovány. Při vypnutí elektrárny, musí být zase možnost dodat potřebný výkon přibližně stejné hodnoty, jaké by dodávala samotná fotovoltaická elektrárna. Samozřejmě, že v tomto se neliší ani větrná elektrárna. Zvýše uvedených argumentů se může zdát, že fotovoltaické elektrárny a jejich výstavby jsou spíše zlem než dobrem, ale není tomu tak. Energie získaná ze slunce je spíše doplňkovou energií. Dle mého názoru jsou nejvýhodnější a státem stále povolené instalace na střechách budov. Těchto instalací je několik typů, jako například jen malá instalace o 2 fotovoltaických panelech, nebo velká instalace, kdy je celá střecha či její jedna strana pokryta fotovoltaickými panely. Tyto instalace mají velký smysl a význam. Jednak tu jde o to, že se níží náklady na platbu za elektřinu, protože to co elektrárna vyrobí tak může být spotřebováno samotnou budovou a dále proto, že přebytek energie, který se nespotřebuje je prodán do sítě provozovateli. U nás vlastně stát podporuje už jen tyto instalace. Poskytuje na ně dotace a garantuje výkupní cenu vztaženou od výkonu a poskytuje i zelené bonusy.

Seznam Obrázků

<i>Obr. 1 - Typický průběh generovaného výkonu a součinitele výkonnosti VTE v závislosti na rychlosti větru [2].....</i>	<i>3</i>
<i>Obr. 2 - Rozložení hustot rychlosti větru pro střední hodnotu rychlosti 15 m/s [2].....</i>	<i>4</i>
<i>Obr. 3 - První větrné mlýny [3]</i>	<i>5</i>
<i>Obr. 4 - Ideální dosažitelná účinnost větrného motoru [3].....</i>	<i>6</i>
<i>Obr. 5 - Větrný motor se 2 listy [3]</i>	<i>6</i>
<i>Obr. 6 - Větrná elektrárna v Kalifornském průmyslu Tehachapi [3].....</i>	<i>7</i>
<i>Obr. 7 - Darreius DZ 12 při zkouškách u severního moře (90 otáček za minutu, 30 kW) [3]</i>	<i>7</i>
<i>Obr. 8 - Domácí větrná elektrárna A.V.E. Hranice (průměr křídel 10m, 11 kW) [3]</i>	<i>8</i>
<i>Obr. 9 - Průřez současnou větrnou elektrárnou [5]</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 10 - Graf účinnosti polohovací elektrárny a obrázek polohovacího panelu [6]</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 11 - Náhled: Graf časového vývoje účinnosti jednotlivých technologií solárních článků [7].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 12 - Malá střešní instalace, Příšov - Plzeň-sever, FVE o výkonu 6,4 kWp, 230W výkon jednoho panelu, celkem 28ks [10]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 13 - Velká střešní instalace, FVE s výkonem 76 kWp, Rankov u Chotěboře, 384ks panelů, 6 střídačů, 1 panel s výkonem 197 Wp [11]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 14 - Primární regulace a primární regulační rezerva</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 15 - Časové oblasti působení jednotlivých regulací</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 16 - Principiální schéma flow baterie [15]</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 17 - Super kondenzátor EESTOR[15].....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 18 - Malá přečerpávací elektrárna [16].....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 19 - Vývoj výroby elektřiny z OZE v ČR – vydaný předpoklad na začátku roku 2010 [21]</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 20 - FVE k 1. 4. 2011 [21]</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 21 - FV Systém s přímým napájením[20].....</i>	<i>29</i>
<i>Obr.22 - 2 systémy s akumulací[20]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 23 - Hybridní ostrovní systém[20].....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 24 - Systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě [20].....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 25 - Systém pro prodej a FVE [20].....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 26 - Obecné schéma fotovoltaického zdroje pracujícího paralelně s distribuční sítí [18]</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 27 - Fotovoltaiické pole v detailu [18]</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 28 - Průměrný roční úhrn globálního záření v Moravskoslezském kraji [29]</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 29 - Kolísání činného a jalového výkonu v Červenci 2010 [29]</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 30 - Koeficient využití v Červenci 2010 [29].....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 31 – Křivky výkonů FVE za Červenec 2010 [29]</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 32 – Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Červenci 2010 [29]</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 33 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE od 26. do 31. Července 2010 [29]</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 34 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q v Červenci 2010 [29]</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 35 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q od 26. do 31. Července 2010 [29]</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 36 - Kolísání činného a jalového výkonu v Srpnu 2010 [29]</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 37 - Koeficientu využití v Srpnu 2010 [29]</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 38 – Křivky výkonů FVE za Srpen2010 [29].....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 39 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Srpnu 2010 [29]</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 40 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q v Srpnu 2010 [29].....</i>	<i>42</i>

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 41 - Kolísání činného a jalového výkonu v Září 2010 [29].....	42
Obr. 42 - Koeficientu využití v Září 2010 [29].....	43
Obr. 43 - Křivky výkonů FVE za Září 2010 [29].....	43
Obr. 44 - Příspěvky činného výkonu od FVE v Září 2010 [29].....	44
Obr. 45 - Příspěvky jalového výkonu od FVE v Září 2010 [29].....	44
Obr. 46 - Kolísání činného a jalového výkonu v Říjnu 2010 [29].....	45
Obr. 47 - Koeficientu využití v Říjnu 2010 [29].....	45
Obr. 48 - Křivky výkonů FVE za Říjen 2010[29].....	46
Obr. 49 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Říjnu 2010 [29].....	46
Obr. 50 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Říjen 2010 od 14. do 31. [29].....	47
Obr. 51 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q v Říjnu 2010 [29].....	47
Obr. 52 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro výkon Q od 14.10. - 31.10. 2010 [29].....	48
Obr. 53 - Kolísání činného a jalového výkonu v Listopadu 2010 [29].....	49
Obr. 54 - Koeficientu využití v Listopadu 2010 [29].....	49
Obr. 55 - Křivky výkonů FVE za Listopad 2010 [29].....	50
Obr. 56 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE v Listopad 2010 [29].....	50
Obr. 57 - Srovnání výkonů na rozvodně a příspěvky od FVE pro Q výkon v Listopadu 2010 [29].....	51
Obr. 58 - Křivky výkonů FVE za sledované měsíce [29].....	52
Obr. 59 - Průměrné koeficienty využití za sledované měsíce roku 2010[29].....	52
Obr. 60 - Graf najetí a vypnutí FVE za sledované měsíce 2010 - náhled[29].....	53
Obr. 61 - Celkové doby dodávky FVE za sledované měsíce 2010 - náhled [29].....	54
Obr. 62 - Paretův graf pro výkon P [29].....	56
Obr. 63 - Paretův graf pro výkon Q [29].....	56
Obr. 64 - Graf časového vývoje účinnosti jednotlivých technologií solárních článků v posledních letech [7].....	63
Obr. 65 - Větrná mapa ČR [8].....	64
Obr. 66 - Mapa průměrné rychlosti větru ve 100m nad mořem v ČR [9].....	65
Obr. 67 - Graf najetí a vypnutí FVE za sledované měsíce roku 2010 [29].....	66
Obr. 68 - Celkové doby dodávky FVE za sledované měsíce 2010 [29].....	67

Seznam Tabulek

Tab. 1 - Srovnání některých typů článků podle účinnosti [7]
Tab. 2 - Kolísání napětí a flicker efekt u SMC 6000 A [19]
Tab. 3 - Hodnoty proudů vyšších harmonických u SMC 6000 A [19]
Tab. 4 - Popisná statistika činného výkonu
Tab. 5 - Popisná statistika jalového výkonu

Seznam použité literatury

- [1] Alternativní zdroje energie [online]. - [cit. 2010-12-06]. Větrné elektrárny. Dostupné z WWW: <<http://www.alternativni-zdroje.cz/vetrne-elektrarny.html>>.
- [2] Wikipedie : Teorie větrné elektrárny [online]. 2008 [cit. 2010-12-06]. Větrná energie. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Větrná_energie>.
- [3] Quido.cz [online]. 2005 [cit. 2010-12-06]. Větrná elektrárna. Dostupné z WWW: <<http://www.quido.cz/objevy/vitr.htm>>.
- [4] PETERKA, Jaroslav, 4-construction.com [online]. 2005 [cit. 2010-12-06]. Savoniův větrný motor. Dostupné z WWW: <<http://www.4-construction.com/cz/clanek/savoniusuv-vetrny-motor/>>.
- [5] MOTLÍK, Jan - ŠAMÁNEK, Libor - ŠTĚKL, Josef - RAŘÍZEK, Tomáš - BÉBAR, Ladislav - LISÝ, Martin - PAVLAS, Martin - BAŘINKA, Radim - KLIMEK, Petr - KNÁPEK, Jaroslav - VAŠÍČEK, Jiří. In *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR*. Praha: ČEZ, a.s., 2007
- [6] Solarobchod.cz [online]. [cit. 2010-12-11]. Fotovoltaické elektrárny s přímou dodávkou do sítě. Dostupné z WWW: <<http://www.solarobchod.cz/cz/reseni/fotovoltaika/>>.
- [7] ŽÁČEK, Martin. Aldebaran.cz [online]. 2010, 37.týden [cit. 2010-12-06]. Současný stav a trendy ve vývoji fotovoltaických panelů. Dostupné z WWW: <http://www.aldebaran.cz/bulletin/2010_37_fot.php>.
- [8] Wwww.eru.cz [online]. Jihlava: 2010, 11. 10. 2010 [cit. 2010-11-10]. Aktuality. Dostupné z WWW: <www.eru.cz>.
- [9] Ufa.cas.cz [online]. 2009 [cit. 2010-12-06]. Větrná mapa ČR. Dostupné z WWW: <<http://www.ufa.cas.cz/vetrna-energie/vetrna-mapa/>>.
- [10] Eko-elektrárny Phono Solar [online]. 2. 12. 2009 [cit. 2010-12-09]. Techvis: Fotovoltaická elektrárna Příšov. Dostupné z WWW: <<http://www.ekoelektrarny.cz/techvis/fotovoltaicka-elektrarna-prisov/>>.
- [11] Hitech Solar [online]. 2010 [cit. 2010-12-09]. Reference - Solární parky. Dostupné z WWW: <<http://www.hitechsolar.cz/solarni-energie.php?kategorie=1220&sekce=1215>>.
- [12] Vybrané problémy z připojování fotovoltaických zdrojů FVE do sítě VN. In POSPÍŠIL, Jaroslav; TUREČEK, Pavel. Konference ČK CIRED 2008 [online]. Tábor : -, 4.11,5.11.2008 [cit. 2010-12-09]. Dostupné z WWW: <http://litovany.ic.cz/index_soubory/down/s4_10_08.pdf>.
- [13] Regulace frekvence v ES. - [online]. -, -, [cit. 2010-12-13]. Dostupný z WWW: <http://hosting.pilsfree.cz/fantom/FEL/MR/_pred_web/5_MRRegulaceES.pdf>.
- [14] Větrné elektrárny: mýty a fakta. - [online]. 2009, -, [cit. 2010-12-13]. Dostupný z WWW: <<http://m3v.ppc.cz/Dokumenty/mytyafakta.pdf>>.
- [15] RADIL, Lukáš; MASTNÝ, Petr. Renewable sources and their accumulation of electric energy. EPE 2009. 2009, -, s. 3.
- [16] LIBRA, Martin; POULEK, Vladislav. Fotovoltaika - teorie i praxe využití solární energie. První vydání. Praha: Ilsa, 2009. 158 s.

- [17] KŘIVÁK, Petr. SOUČASNÉ MOŽNOSTI AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE VE FOTOVOLTAICKÝCH APLIKACÍCH. AKUMULACE ELEKTRICKÉ energie ve fotovoltaických aplikacích.pdf. -, -, s. 1-5.
- [18] OCHRANNÉ A SPÍNACÍ PŘÍSTROJE FOTOVOLTAICKÝCH ZDROJŮ. Zpravodaj OEZ [online]. 2010, 1, [cit. 2011-03-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.oez.cz/file/404>>.
- [19] POSPÍŠIL, Jaroslav; TUREČEK, Pavel. VYBRANÉ PROBLÉMY Z PŘIPOJOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÝCH ZDROJŮ FVE DO SÍTĚ VN.pdf. Konference ČK CIRED 2008. 4. a 5. 11. 2008, -, s. 1-11.
- [20] OZE SOLAR S.R.O: Typy fotovoltaických instalací [online]. - [cit. 2011-03-05]. Dostupné z WWW:<http://www.ozesolar.cz/index.php?page=solarni_systemy&solarpage=system_solarni_energie&ssepage=typy_fotovoltackych_instalaci>.
- [21] Wwww.eru.cz [online]. 2010 [cit. 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <www.eru.cz>.
- [22] ČESENĚK, VLADIMÍR. Technický týdeník [online]. - [cit. 2011-03-27]. Vývoj technologií větrných elektráren a plány Skupiny ČEZ. Dostupné z WWW: <<http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=2851&mark=>>>.
- [23] HRADÍLEK, Zdeněk. Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení. Ostrava-Mariánské Hory: Montanex, 2008. 364 s.
- [24] ŠKORPIL, Jan; MERTLOVÁ, Jiřina; WILIAM, Bedřich. Obnovitelné Zdroje a jejich začleňování do energetických systémů: Publikace ke grantovému projektu GAČR 102/06/0132. první. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2008. 52 s.
- [25] Sborník EPE 2009 : Dlouhé Stráně, Výběr referátů. In Sborník EPE 2009. - : -, 2009. s. -.
- [26] Sborník EPE 2010 : Polsko-Wisla. Sborník EPE 2010. - : -, 2010. s. -.
- [27] Sborník EPE 2010 : VUT BRNO. Sborník EPE 2010. - : -, 2010. s. -.
- [28] Skripta VŠB - Statistika
- [29] Smlouva HS 410002